

**ESTUDO TÉCNICO-CIENTÍFICO VISANDO A DELIMITAÇÃO DE
PARQUES AQUÍCOLAS NOS LAGOS DAS USINAS HIDROELÉTRICAS
DE FURNAS E TRÊS MARIAS – MG**



RELATÓRIO DE CONSULTOR

**CONVÊNIO 8713 FUNDEP-UFMG Parques Aquícolas
SECTES-MG Nº 025/2005
PROCESSO: 00350.000278/2005-20**

ABRIL 2007

Proponente:

Secretária de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais.

Praça da Liberdade s/nº

Prédio Verde esquina com rua Gonçalves Dias Bairro: Funcionários

CEP: 30140-010 – Belo Horizonte (MG)

Coordenador Científico (Executor):

Prof. Dr. Ricardo Motta Pinto-Coelho

Departamento de Biologia Geral

Instituto de Ciências Biológicas

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627

CEP 31210-901 - Belo Horizonte (MG)

Telefax 031 3499 2605

E-mail: rmpc@icb.ufmg.br

URL: <http://www.icb.ufmg.br/~rmpc>

Coordenadora de Relações Institucionais:

Dra. Magda K. Barcelos Greco

Coordenadora do Programa de Gestão Tecnológica em Recursos Hídricos

Secretária de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais.

E-mail: magda.greco@tecnologia.mg.gov.br

Entidade gestora:

Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa da UFMG – FUNDEP

NAU – Núcleo de Apoio ao Usuário

Av. Antônio Carlos, 6627

Bairro São Francisco

31270-910 Belo Horizonte (MG)

Tel 3499 4224

E-mail: vangelo@fundep.ufmg.br

URL: <http://www.fundep.ufmg.br>

Gerente responsável: Wagner Mendes.

Logotipo: O logotipo do projeto procura realçar a noção de que é possível incrementar a produção de pescado nos reservatórios do Brasil através da manipulação dos recursos pesqueiros ali existentes, buscando um uso mais racional da produção biológica desses sistemas. Os impactos se existentes serão limitados a uma escala local (mancha verde) não comprometendo a qualidade geral do sistema (fundo azul). Logotipo desenvolvido pelo *designer gráfico* Cezar Costa (e-mail: celuco@zipmail.com.br).

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PARQUES AQUÍCOLAS

MEIO FÍSICO – HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Dra. CRISTIANE PEIXOTO VIEIRA
Hidróloga

1 – INTRODUÇÃO

A avaliação da hidrologia superficial faz parte de uma etapa posterior à etapa de diagnóstico dos meios físico, biótico e sócio-econômico para identificação de áreas tecnicamente adequadas para aquíicultura nos reservatórios de Três Marias e Furnas.

Na etapa de diagnóstico do meio físico foram desenvolvidas atividades de caracterização física das bacias nas quais os reservatórios se encontram tais como: uso do solo, cobertura vegetal, tipo de solo, distribuição do relevo, altitude, etc., que em conjunto com os diagnósticos dos outros meios permitiram formar um conhecimento das restrições quanto a áreas que podem ser ocupadas por tanques rede dentro dos reservatórios de Três Marias e Furnas.

A identificação dos parques aquícolas nesses reservatórios, foi, portanto, uma condição estabelecida anteriormente à avaliação hidrológica, já que essa não é fator limitante à implantação do parque e sim, condicionante à produção de piscicultura.

Dessa forma, essa etapa do trabalho se constituiu em uma caracterização hidrológica de cada um dos parques e áreas aquícolas identificados. A estimativa hidráulica dos tempos de residência da água em alguns braços dos reservatórios dentro dos parques aquícolas foi uma etapa relevante para se ter uma avaliação do tempo necessário à renovação da água em diferentes condições de vazão, variável essa, fundamental na avaliação da capacidade de suporte desses parques.

Foi feita ainda uma análise do regime operativo dos reservatórios a partir do histórico de dados existentes para avaliar a probabilidade de ocorrência de cada nível de água, bem como algumas inferências qualitativas a respeito das questões de sedimentos.

2 – PARQUES AQUÍCOLAS

2.1 RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

No reservatório de Três Marias foram identificados dois parques Aquícolas de acordo com critérios discutidos em outros itens desse relatório. O parque aquícola do rio Indaiá que engloba toda a bacia desse rio e o parque aquícola do rio São Francisco com alguns afluentes.

Para cada um dos parques foi feita uma caracterização hidrológica da subbacia hidrográfica. As estações hidrométricas de monitoramento identificadas no reservatório de Três Marias estão apresentadas na figura 1 e listadas na tabela 1.

FIGURA 1 – figura com limites dos 2 parques aquícolas e com todas as estações hidrométricas existentes (Marcelo Ávila)

TABELA 1 – Estações fluviométricas próximas aos Parques Aquícolas do reservatório de Três Marias

CODIGO	NOME DA ESTAÇÃO	RIO	ÁREA (km²)	LAT.	LONG.
40963000	Porto Indaiá	Indaiá	2260	18:41:18	45:34:34
40930000	Barra do Funchal	Indaiá	881	19:23:43	45:53:11
40865001	Porto Mesquita	Paraopeba	10300	19:10:15	44:41:24
40455001	Porto Para	Para	11300	19:17:03	45:06:24
40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	13087	19:16:43	45:17:09
41940000	Ponte do Bicudo	Bicudo	1922	18:11:46	44:34:12

3 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DOS PARQUES AQUÍCOLAS

3.1. PARQUE AQUÍCOLA DO RIO INDAIÁ

O rio Indaiá tem duas estações fluviométricas instaladas ao longo do seu curso d'água com áreas de drenagem de 881km² e 2260 km². Os dados dessas duas estações foram analisados sob o ponto de vista de consistência, correlação e continuidade conforme mostram os gráficos 1 e 2.

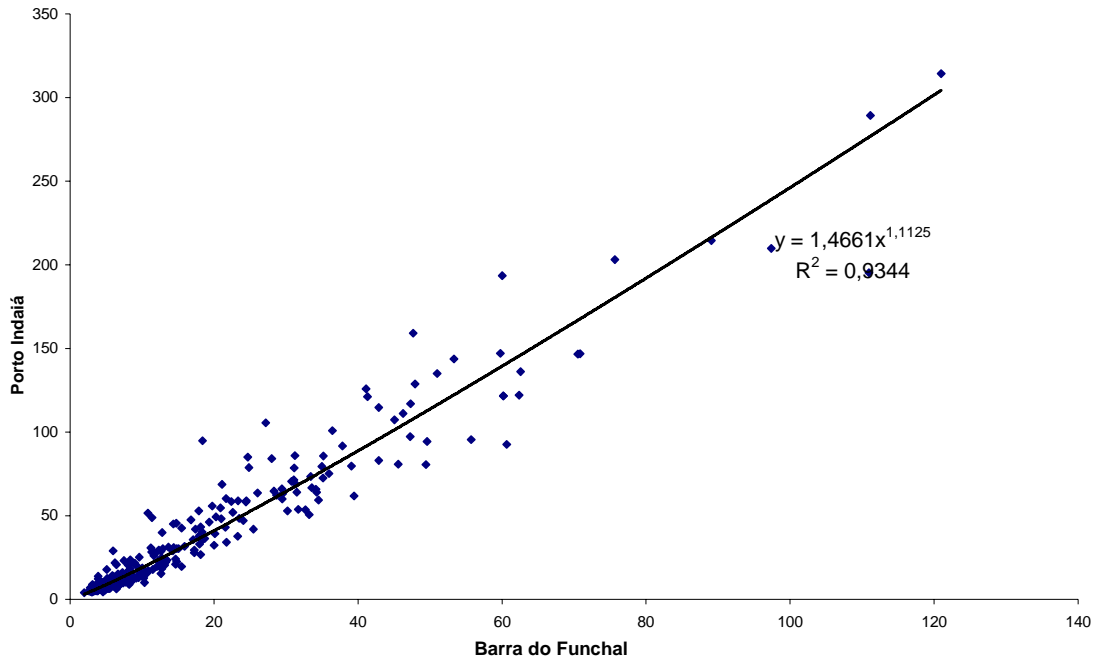


Gráfico 1 – Correlações entre estações fluviométricas do rio Indaiá.

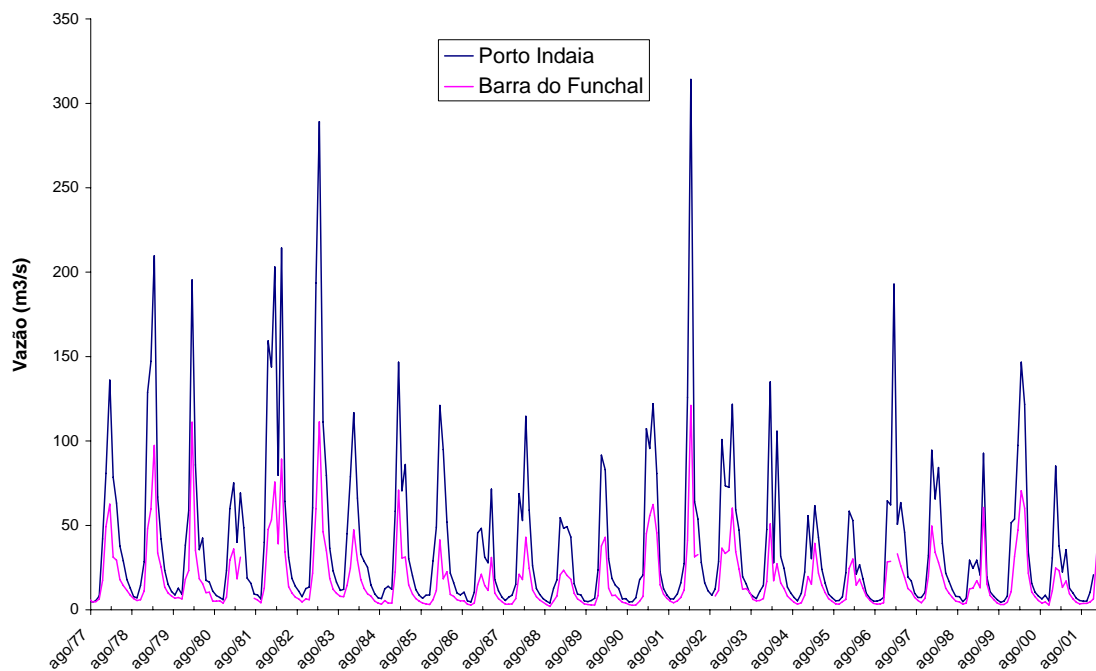


Gráfico 2 – Hidrograma das estações Porto Indaia e Barra do Funchal no período comum de 1977 a 2001.

A estação de Porto Indaiá, operada pela Cemig, tem dados disponibilizados até 2001, enquanto que a estação de Barra do Funchal, operada pela ANA, tem disponível dados até 2006. Como as duas estações apresentaram séries históricas confiáveis e consistentes fez-se uma extensão da série histórica de Porto Indaiá utilizando-se da correlação entre as duas estações.

$$Q_{PI} = 1,4661 * Q_{BF}^{1,1125} \quad (1)$$

onde:

Q_{PI} – vazão em Porto Indaiá

Q_{BF} – vazão em Barra do Funchal

Dessa forma, as vazões características dessa bacia foram calculadas a partir dessas duas estações como mostra a tabela 2.

TABELA 2 – Vazões Características do rio Indaiá

	PORTO INDAIÁ		BARRA DO FUNCHAL	
	m ³ /s	m ³ /s km ²	m ³ /s	m ³ /s km ²
Q_{MLT}	39	0,01725	18	0,02043
$Q_{PERÍODO SECO}^*$	11	0,00487	6	0,00681
$Q_{1999-2001}^{**}$	30	0,01327	16	0,01816
$Q_{MIN. MÉDIA MENSAL}$	4	0,00177	1,99	0,00225

*Vazão média do período seco definida como sendo a média das vazões de maio a outubro.

** Vazão média do período de 1999 a 2001, referente à época de maior deplecionamento do reservatório.

3.2. PARQUE AQUÍCOLA DO RIO SÃO FRANCISCO

O rio São Francisco na entrada do reservatório de Três Marias tem três estações de medição de vazões, sendo duas em formadores do reservatório: rio Pará e rio Paraopeba e a terceira localizada no próprio rio São Francisco. Entretanto, as áreas de drenagem dessas estações são bem superiores às áreas de drenagem dos locais selecionados dentro do Parque Aquícola do rio São Francisco.

A análise de consistência dos dados fluviométricos foi feita considerando ainda uma estação fluviométrica localizada em um afluente do rio das Velhas, rio Bicudo, com características bastante semelhantes à margem direita do reservatório de Três Marias e com área de drenagem bem menor do que as estações dos rios formadores do reservatório.

Os gráficos 3 a 9 mostram as correlações entre as estações fluviométricas que poderão ser usadas para geração da série de vazões nas Áreas Aquícolas do Parque Aquícola do rio São Francisco.

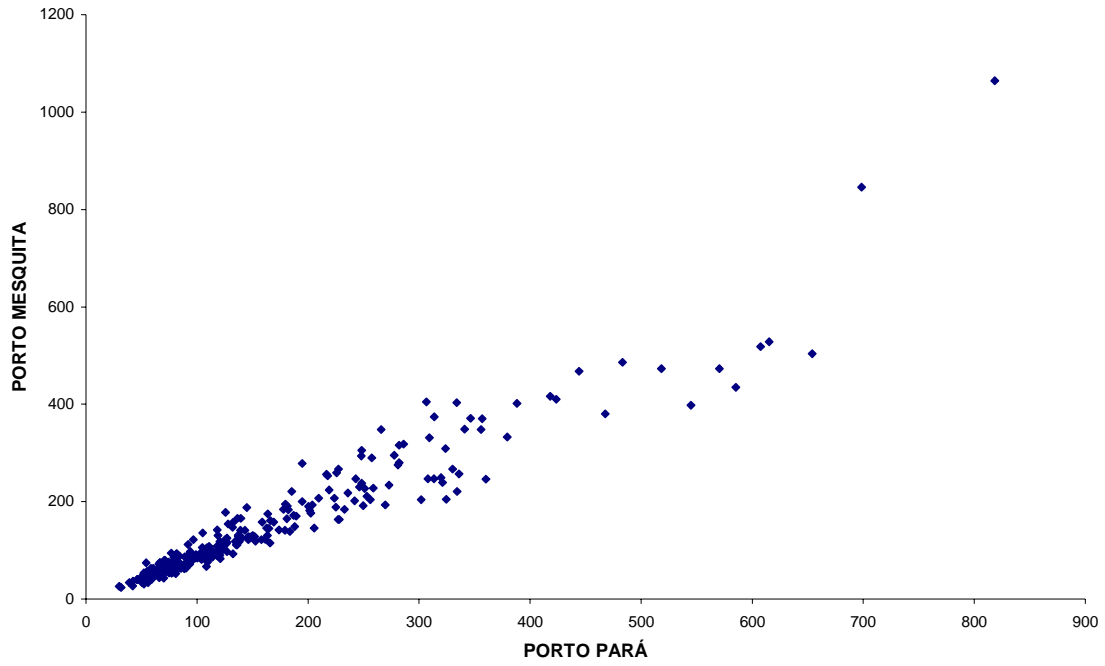


GRÁFICO 3 – Correlação entre estações Porto Pará e Porto Mesquita

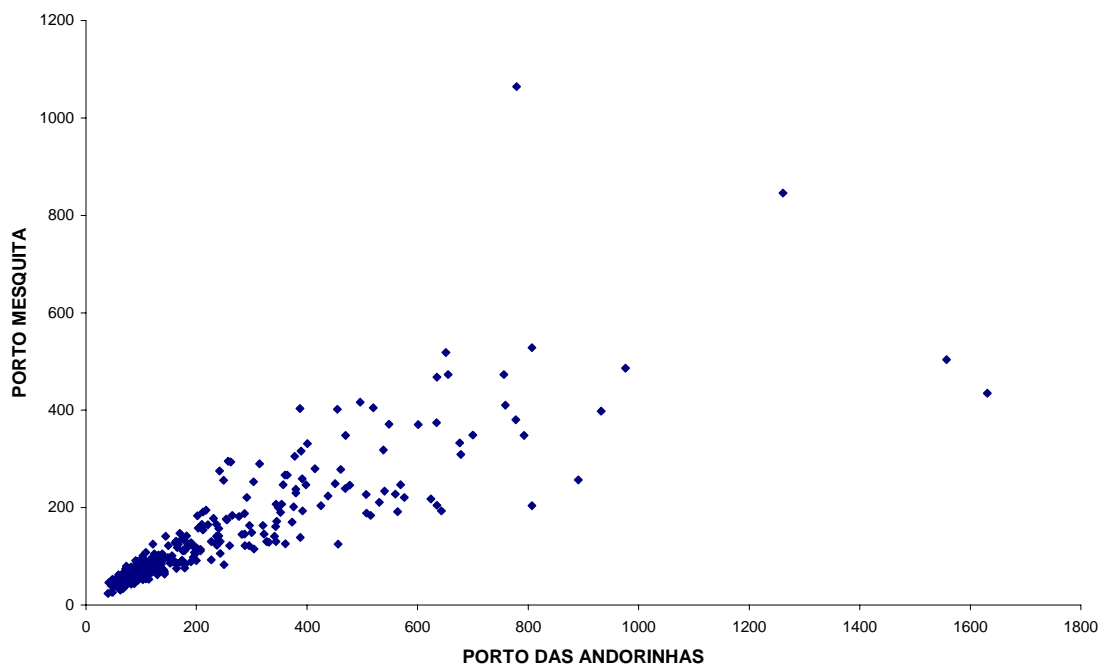


GRÁFICO 4 – Correlação entre as estações Porto Mesquita e Porto das Andorinhas

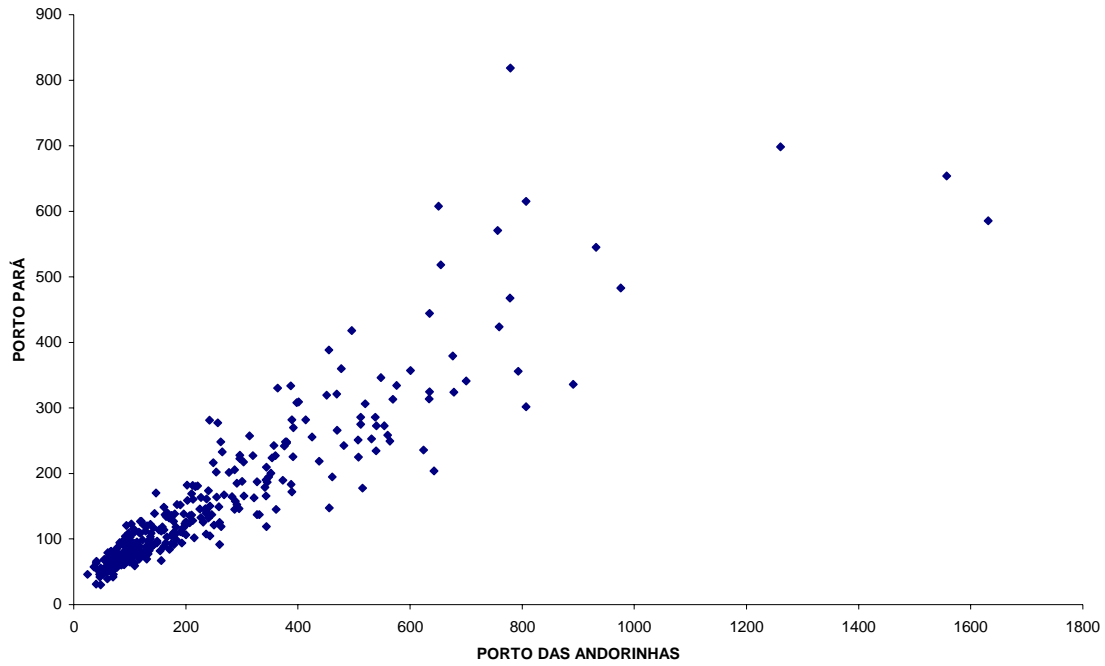


GRÁFICO 5 – Correlação entre as estações Porto Pará e Porto das Andorinhas

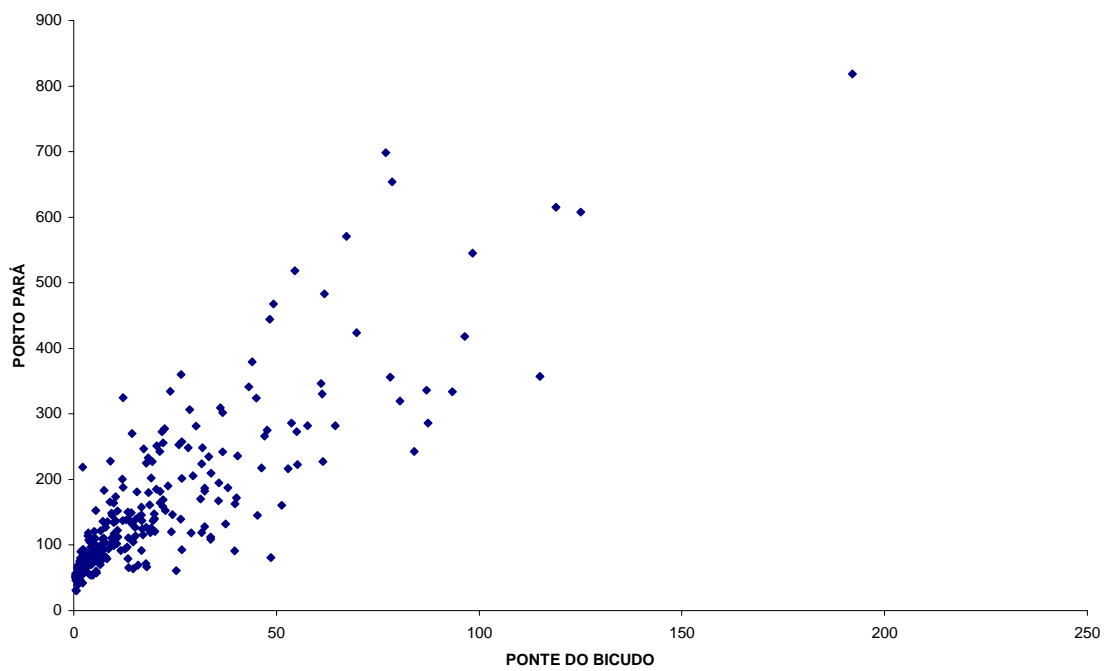


GRÁFICO 6 – Correlação entre as estações Porto Pará e Ponte do Bicudo

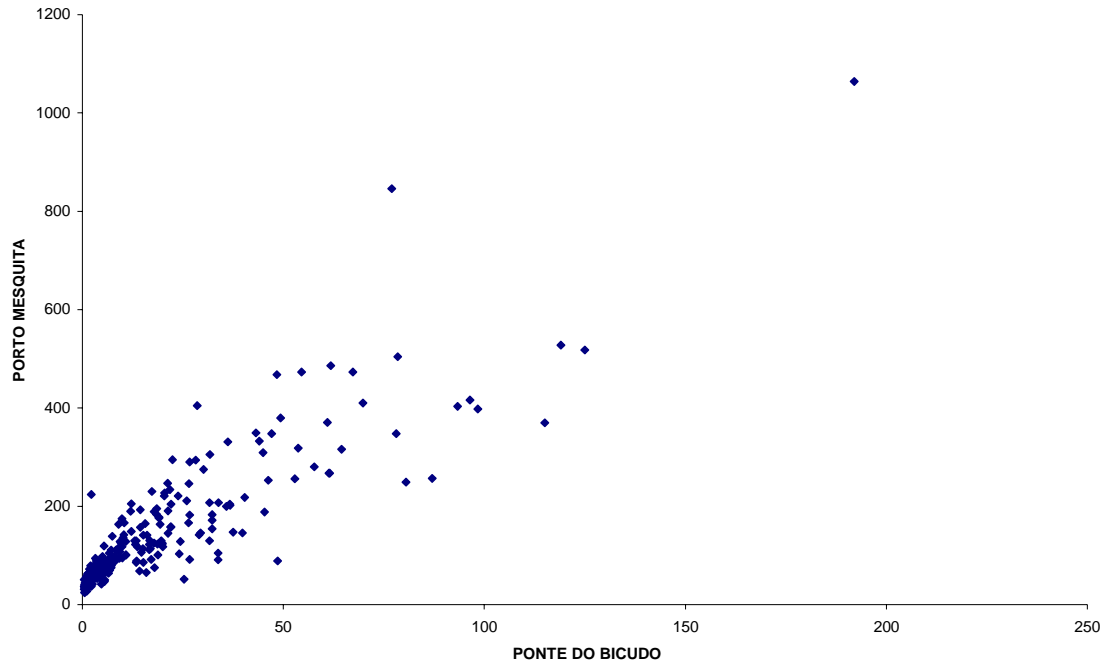


GRÁFICO 7 – Correlação entre as estações Porto Mesquita e Ponte do Bicudo

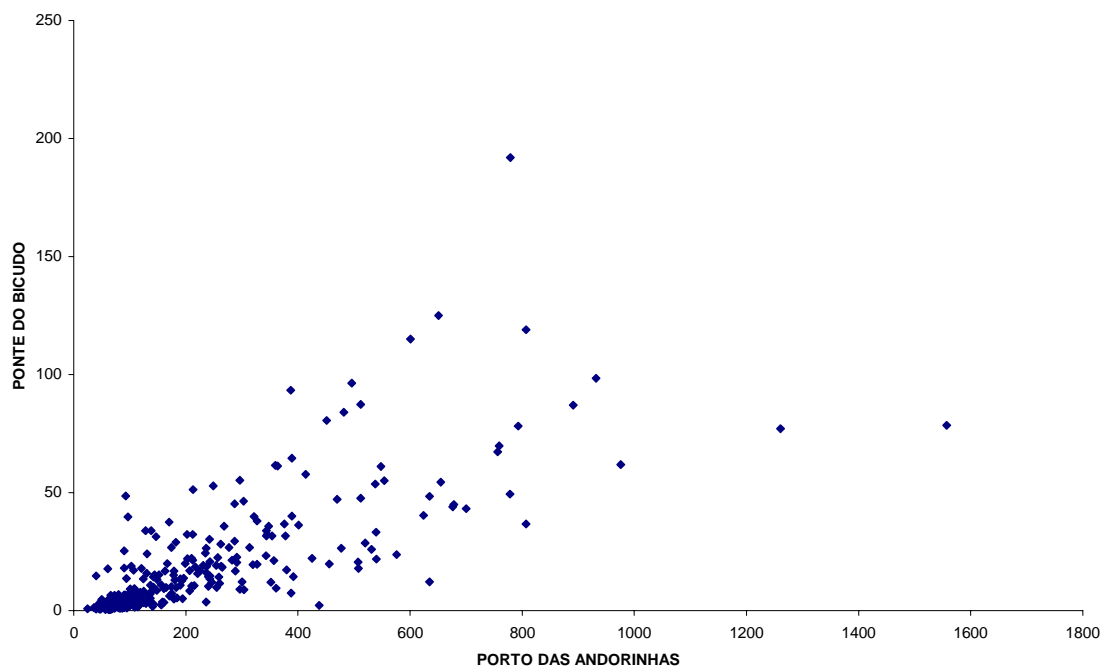


GRÁFICO 8 – Correlação entre as estações Porto das Andorinhas e Ponte do Bicudo

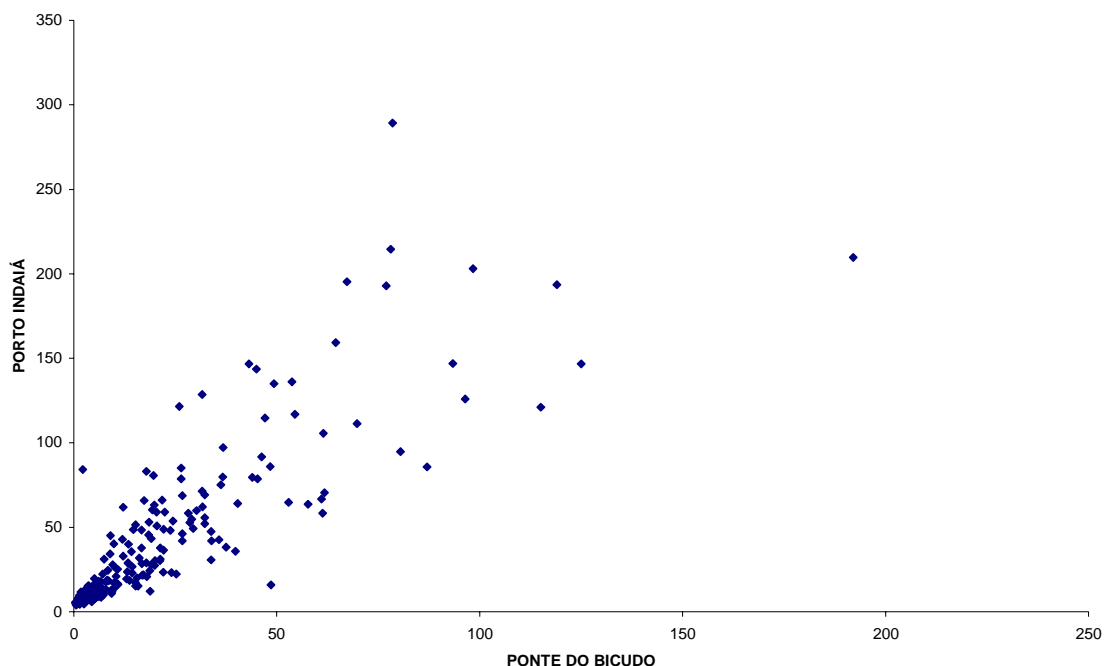


GRÁFICO 9 – Correlação entre as estações Porto Indaiá e Ponte do Bicudo

A análise dos gráficos permite concluir que existe boa correlação entre as vazões das três estações de monitoramento na entrada do reservatório – Porto Mesquita, Porto das Andorinhas e Porto Pará. Entretanto, quando as análises são feitas entre essas estações e a estação de Ponte do Bicudo, na bacia do rio das Velhas, os coeficientes de correlação são um pouco menores, indicando que existe diferença mais significativa de comportamento hidrológico entre a entrada do reservatório no rio São Francisco e a parte mais alta onde se encontram as Áreas Aquícolas escolhidas.

A tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação entre as diversas estações analisadas.

Tabela 3 - Correlações

	Porto Pará	Porto das Andorinhas	Porto Mesquita	Porto Indaiá	Ponte do Bicudo
Porto Pará	1,0	0,91	0,96	0,88	0,85
Porto das And.	0,91	1,0	0,84	0,90	0,76
Porto Mesquita	0,96	0,84	1,0	0,85	0,88
Porto Indaiá	0,88	0,90	0,85	1,0	0,85
Ponte do Bicudo	0,85	0,76	0,88	0,85	1,0

Para caracterizar o regime hidrológico dessa bacia foram calculadas algumas vazões características para todas as estações analisadas, conforme tabela 4.

TABELA 4 – Vazões Características das estações do rio São Francisco e Bicudo (bacia do rio das Velhas)

	PORTO PARÁ		PORTO ANDORINHAS		PORTO MESQUITA		PONTE DO BICUDO	
	m ³ /s	m ³ /s km ²	m ³ /s	m ³ /s km ²	m ³ /s	m ³ /s km ²	m ³ /s	m ³ /s km ²
Q_{MLT}	155,0	0,0137	241,0	0,0184	144,0	0,0140	18,65	0,0097
Q_{PERÍODO SECO*}	86,0	0,0076	111,0	0,0085	73,0	0,0071	4,68	0,0024
Q_{1999-2001**}	111,0	0,0098	181,0	0,0138	91,0	0,0088	10,32	0,0054
Q_{MIN. MÉDIA MENSAL}	30,0	0,0027	40	0,0031	24,0	0,0023	0,42	0,0002

*Vazão média do período seco definida como sendo a média das vazões de maio a outubro.

** Vazão média do período de 1999 a 2001, referente á época de maior deplecionamento do reservatório.

Pela análise das tabelas 2 e 4 pode-se observar que a maior produção de água para o reservatório de Três Marias é proveniente do rio Paraopeba, seguido pelo rio Indaiá. Quando a análise é feita para o período de estiagem o rio Indaiá é que apresenta a menor produção, o que é típico de bacias menores onde os eventos hidrológicos são mais intensos.

4 – ÁREAS AQUÍCOLAS

Dentro dos Parques Aquícolas dos rios Indaiá e São Francisco foram selecionadas áreas com potencial para implantação dos tanques redes.

No Parque do rio Indaiá foi selecionado cinco locais que podem ser objeto de avaliação independente e mais um na foz do rio Indaiá, enquanto que na bacia do rio São Francisco dois braços do reservatório foram selecionados para avaliação da capacidade de suporte.

A figura 2 mostra os braços e Áreas Aquícolas selecionadas para as quais foi calculado o tempo de residência da água – variável fundamental para a modelagem da capacidade de suporte dessas áreas.

O tempo de residência (equação 2) é definido como o tempo necessário para que aquele braço do reservatório selecionado renove suas águas. Portanto, quanto menor o tempo de residência, menor a sua capacidade de degradação

$$T = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

onde:

T – tempo de residência (dias)

V- volume da massa de água (m³)

Q – vazão afluyente (m³/s x 86400)

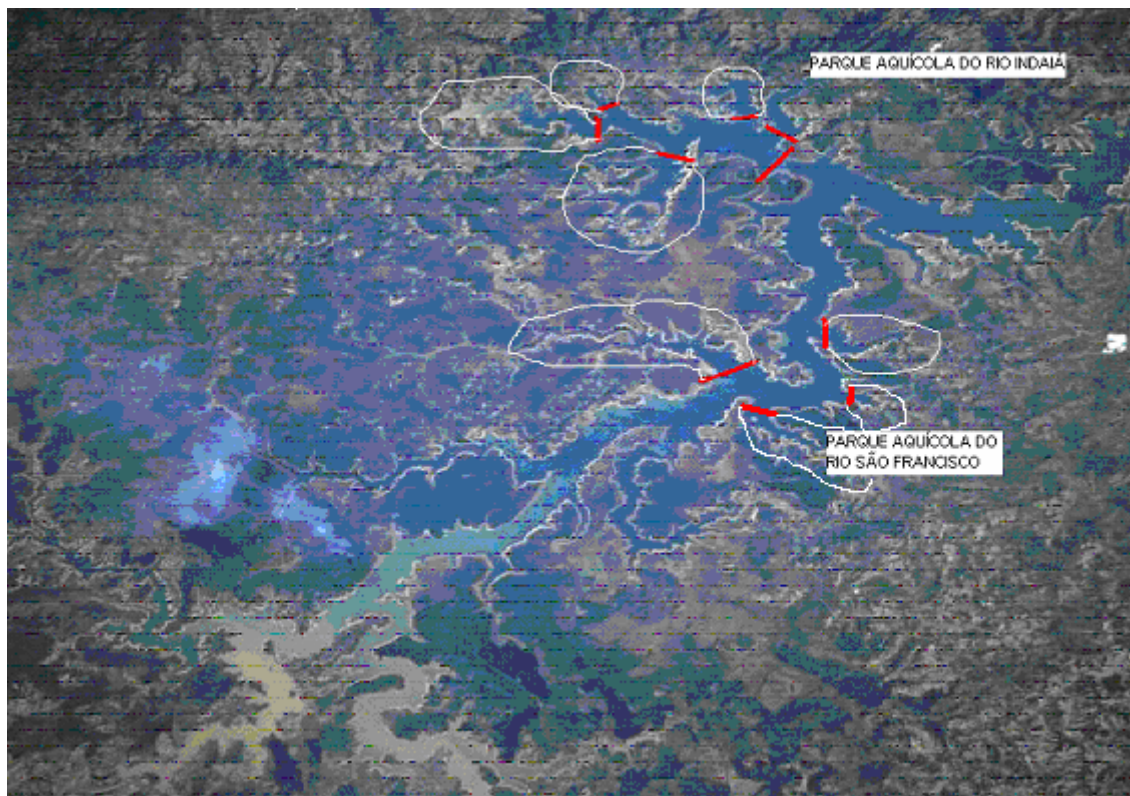


Figura 2 – Braços dos rios Indaia e São Francisco com as Áreas Aquícolas selecionadas

A curva cota x área x volume do reservatório apresentada no gráfico 10 não é suficiente para o cálculo do tempo de residência em pequenos braços do reservatório, uma vez que ela é calculada para todo o corpo de água. A utilização dessa curva seria para o cálculo de um tempo de residência médio do reservatório de Três Marias.

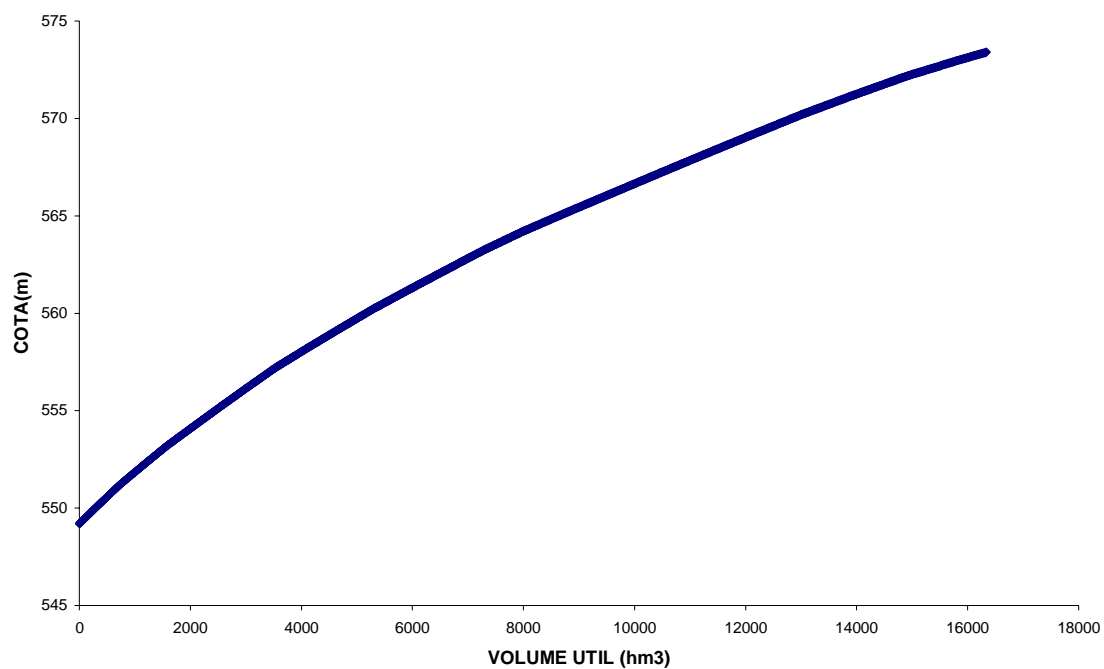


GRAFICO 10 – Curva cota x volume do reservatório de Três Marias

O nível de água considerado nos cálculos do tempo de residência foi 556,2m, que representa a pior condição de deplecionamento registrada. Para esse nível de água e considerando a vazão média de longo termo do período todo, o tempo de residência do reservatório é de 50 dias e para o reservatório no seu NA Max normal o tempo de residência seria de 252 dias.

Entretanto, os braços podem ter um tempo de residência bem diferente desse já que as variáveis como vazão de entrada no braço e volume são bem diferentes.

4.1 – ESTIMATIVA DOS VOLUMES NAS ÁREAS AQUÍCOLAS

4.1.1. Parque Aquícola do rio Indaiá

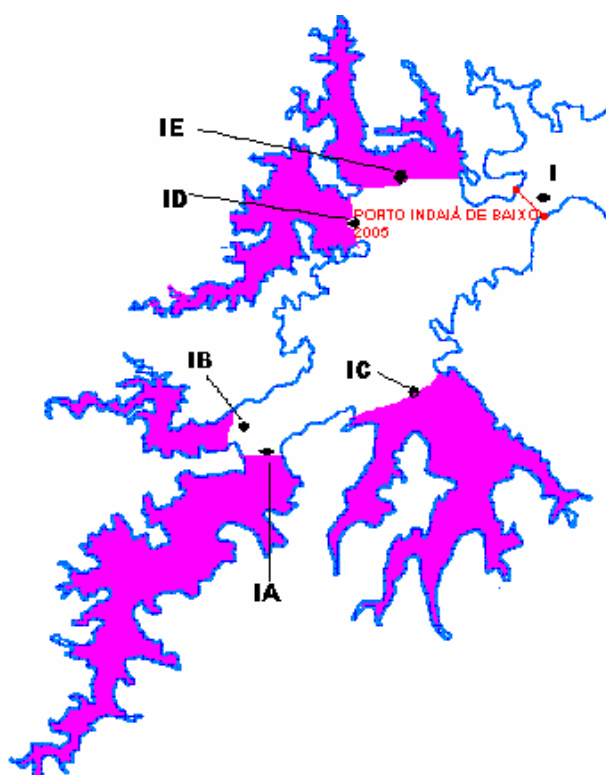


FIGURA 3 – Áreas Aquícolas do rio Indaiá

Dentro do Parque Aquícola do rio Indaiá foram selecionadas cinco áreas potenciais para produção conforme mostra a figura 3. Essas áreas foram denominadas de I_A até I_E para efeito de cálculo do volume e a área que compreende todo o rio Indaiá foi chamada somente de I.

Para o cálculo do volume de água em cada braço do reservatório fez-se uma aproximação da bacia hidrográfica por um desenho de forma conhecida que é a pirâmide, conforme mostrado na figura 4.

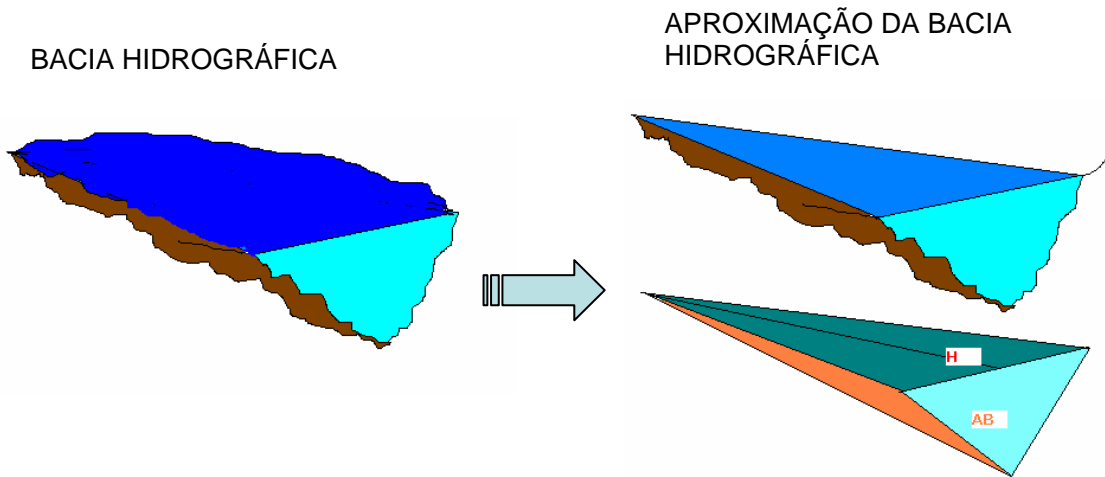


FIGURA 4 – Simplificação adotada para estimativa do volume

A partir do desenho apresentado na figura 5 o volume pode ser calculado conforme a equação 2.

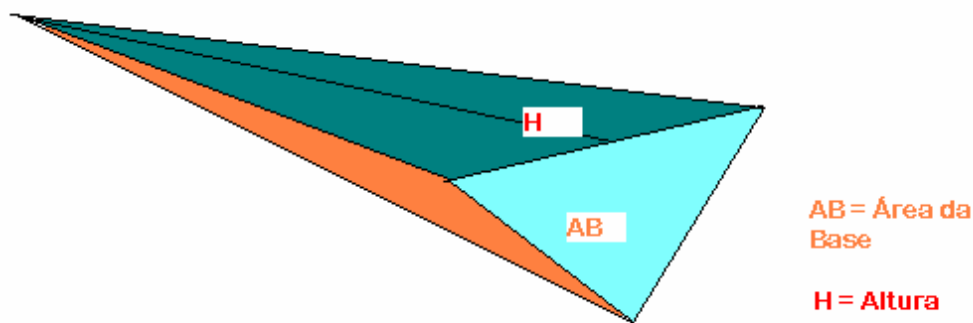


FIGURA 5 – Desenho do braço do reservatório

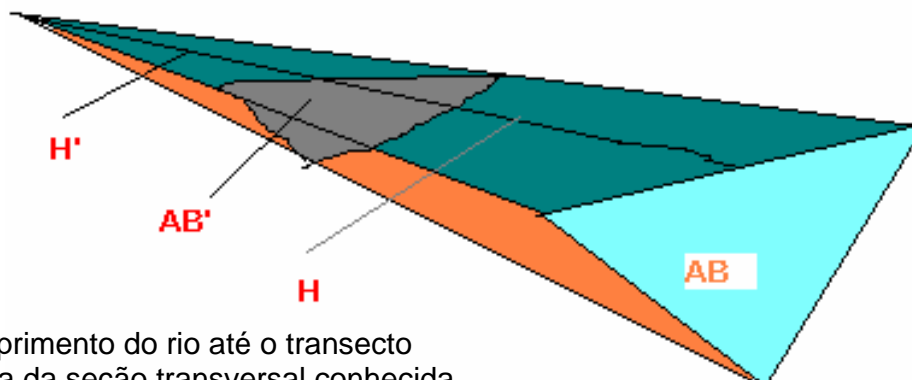
$$V = \frac{1}{3} A_{BASE} H \quad (2)$$

onde:

A_{BASE} é a área da seção transversal (m^2)
 H é o comprimento do braço do reservatório (m)
 V é o volume calculado (m^3)

Entretanto, em determinados braços o levantamento da seção transversal em campo não foi feito no final do braço necessitando de uma transferência de dados para o ponto de cálculo do tempo de residência. A figura 6 mostra uma

seção AB' conhecida e uma seção AB que será usada para cálculo do volume de água desse braço.



H' = Comprimento do rio até o transecto
 AB' = Área da seção transversal conhecida
 H = Comprimento do rio no braço todo
 AB = Área estimada

FIGURA 6 – Desenho representativo para transferência de dados conhecidos para o exutório da bacia

A transferência de seção foi feita usando um dos três critérios conforme mostra a figura 7 :

- Relação entre a área da seção transversal conhecida e o comprimento do rio

$$AB = \frac{AB' \times L}{L1} \quad (3)$$

- Relação do volume de água na seção conhecida pela área de drenagem
- Adoção de uma declividade constante ao longo do rio e transferência da seção transversal para o exutório da bacia considerada

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \hat{\theta} &= \frac{P1}{L1} = \frac{P2}{L} \\ P2 &= \frac{P1 \times L}{L1} \end{aligned} \quad (4)$$

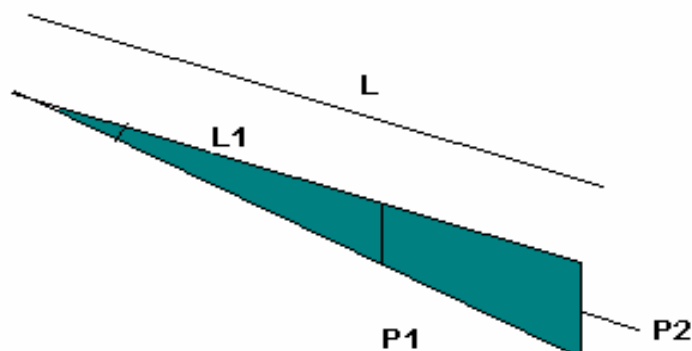


FIGURA 7 – Desenho usado para o cálculo da seção transversal no exutório

Os dados necessários para cálculo do volume em cada braço do rio Indaiá estão apresentados na tabela 5.

TABELA 5 – Dados para transferência de seções batimétricas

BRAÇOS DO RIO INDAIÁ	ÁREA(m ²) DA SEÇÃO TRANS.	DISTÂNCIAS (m)	
		ATÉ O TRANSECTO	BRAÇO
IA	1.678		11.000
IB	1862	1870	5700
IC	4353,8	2740	8500
IC	1496	1010	
ID	4283	3192	7650
IE	7860	2717	5600
PORTO DO TRAÇADAL(I)	19730		

Com exceção dos braços I_A e I, todos os demais passaram pela etapa de transferência da seção transversal para o fim do braço e, portanto, novas áreas de seções transversais foram calculadas. A tabela 6 apresenta os parâmetros de cálculo em cada um dos braços e o volume de água para a cota de deplecionamento.

Os braços I_C, I_D e I compreendem vários braços pequenos e seus volumes foram calculados por uma composição de volumes dos braços mais o volume incremental.

TABELA 6 – Parâmetros de cálculo dos volumes

BRAÇOS DO RIO INDAIÁ	H (m)	ABASE (m ²)	VOLUME		
			INCREMENTAL	(m ³)	TOTAL (m ³)
IA	11000	1.678		6.152.667	6.152.667
IB	5700	5556,8		10.557.920	10557920
IC	3593	5879,2		7.041.322	
IC	3575,2	12456	22.981.942	14.844.230	44.867.494
ID	3192	4283	33.792.217	4557112	38.349.329
IE	5600	13251,9		24736880	24736880
PORTO DO TRAÇADAL(I)	14376,9	19730	124.664.290	94552079	219.216.369

4.1.2. Parque Aquícola do rio São Francisco

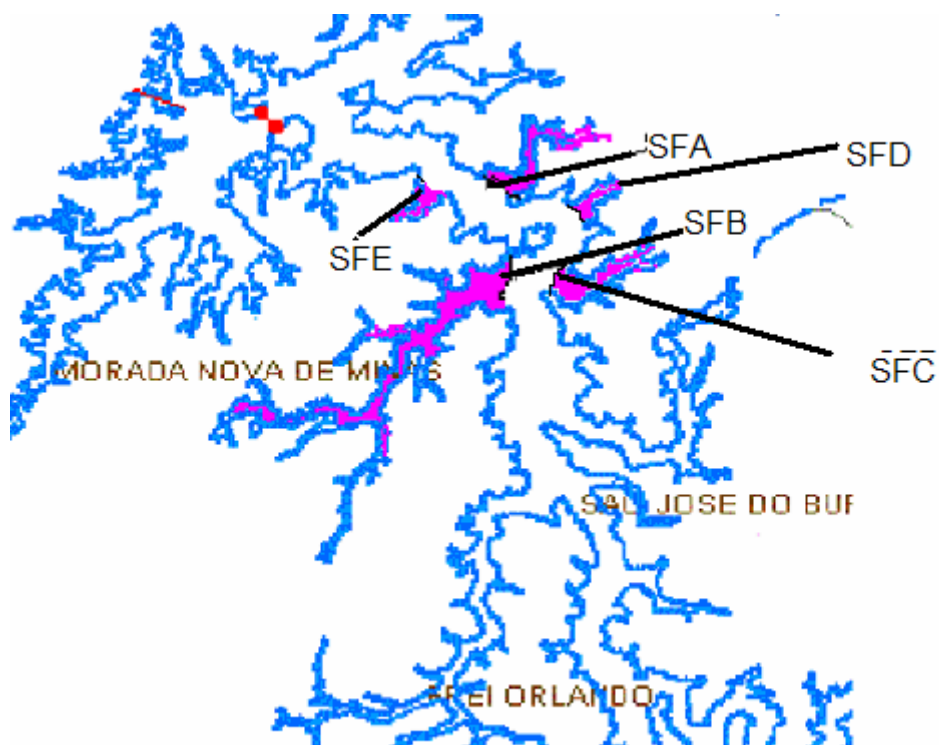


FIGURA 8 – Áreas Aquícolas do rio São Francisco

Dentro do Parque Aquícola do rio São Francisco foram selecionadas cinco áreas potenciais para produção conforme mostra a figura 8, denominadas de SFA a SFE.

O procedimento para cálculo do volume de água nesses braços do reservatório foi o mesmo usado no rio Indaiá e portanto já explicado nos itens anteriores.

As tabelas 7 e 8 mostram os parâmetros de cálculo dos volumes.

TABELA 7 – Dados para transferência de seções batimétricas

BRAÇOS DO RIO SÃO FRANCISCO	ÁREA(m ²) DA SEÇÃO TRANS.	DISTÂNCIAS (m)	
		ATÉ O TRANSECTO	BRAÇO
SFA	11700	5250	8200
SFB	5870	6800	13000
SFC	18818	-	5402
SFD	9733	-	2560
SFE	-	-	2425

TABELA 8– Parâmetros de cálculo dos volumes

BRAÇOS DO RIO SÃO FRANCISCO	H (m)	ABASE (m ²)	VOLUME (m ³)
SFA	8200	21286,46	58.182.991
SFB	13000	6537,56	28.329.427
SFC	5402	18818	33.884.945
SFD	2560	9733	8.305.493
SFE	2425	-	-

4.2. ESTIMATIVA DAS VAZÕES NAS ÁREAS AQUÍCOLAS

Partindo do conhecimento das vazões características dos rios Indaiá e São Francisco apresentadas nas tabelas 2 e 4, foi feita uma regionalização dessas informações de maneira que se possam transferir os dados para outros pontos da bacia onde não são feitas medições de vazões.

No rio Indaiá utilizou-se a estação de Porto Indaiá para os locais com áreas de drenagem próxima a área dessa estação e Barra do Funchal, cuja área de drenagem é 881km², para as demais áreas conforme mostra a tabela 9.

TABELA 9 – Estações usadas para cálculo em cada área aquícola

ÁREAS AQUÍCOLAS	ÁREA DE DRENAGEM(km ²)	VAZÕES DAS ESTAÇÕES(m ³ /s.km ²)				
		ESTAÇÃO USADA	qmlt	qperíodo seco	q99-01	qminima
IA	2500	Porto Indaiá	0,0173	0,0049	0,0133	0,0018
IB	103,5	Barra do Funchal	0,0204	0,0068	0,0182	0,0023
IC	90,5	Barra do Funchal	0,0204	0,0068	0,0182	0,0023
ID	123,8	Barra do Funchal	0,0204	0,0068	0,0182	0,0023
IE	78,6	Barra do Funchal	0,0204	0,0068	0,0182	0,0023
I	2928	Porto Indaiá	0,0173	0,0049	0,0133	0,0018
SFA	117	Ponte do Bicudo	0,0097	0,0024	0,0054	0,0002
SFB	587	Porto Indaiá	0,0173	0,0049	0,0133	0,0018
SFC	15,5	Porto Indaiá	0,0173	0,0049	0,0133	0,0018
SFD	15	Ponte do Bicudo	0,0097	0,0024	0,0054	0,0002
SFE	22,8	Ponte do Bicudo	0,0097	0,0024	0,0054	0,0002

Dessa forma, a tabela 10 mostra as vazões estimadas para cada uma das áreas aquícolas selecionadas dentro dos Parques Aquícolas do reservatório de Três Marias.

TABELA 10 – Vazões características nas áreas aquícolas

ÁREAS AQUÍCOLAS	VAZÕES NAS ÁREAS AQUÍCOLAS (m ³ /s)			
	QMLT	Qperíodo seco	Q1999-2001	Qminima
IA	43,3	12,3	33,3	4,5
IB	2,1	0,7	1,9	0,2
IC	1,8	0,6	1,6	0,2
ID	2,5	0,8	2,3	0,3
IE	1,6	0,5	1,4	0,2
I	50,7	14,3	38,9	5,3
SFA	1,1	0,3	0,6	0,0
SFB	10,2	2,9	7,8	1,1
SFC	0,3	0,1	0,2	0,0
SFD	0,1	0,0	0,1	0,0
SFE	0,2	0,1	0,1	0,0

4.3. ESTIMATIVA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA HIDRAÚLICO

O tempo de residência hidráulico definido como a razão entre o volume de água e a vazão é um fator controlador da qualidade da água do reservatório e nesse trabalho, em especial, um fator limitante à exploração da atividade de aquicultura. Conforme definido na equação 1, o tempo de residência foi calculado para cada uma das áreas aquícolas do Parque do rio Indaiá e Parque do rio São Francisco utilizando-se dos dados das tabelas 6, 8 e 10, que estão apresentados na tabela 11.

TABELA 11- Tempo de Residência nas áreas Aquícolas dos Parques do rio Indaiá e São Francisco

ÁREAS AQUÍCOLAS	TEMPOS DE RESIDÊNCIA (dias)			
	QMLT	Qperíodo seco	Q1999-2001	Qmínima
IA	1,6	5,8	2,1	15,8
IB	57,9	173,6	64,9	513,3
IC	281,3	843,8	315,3	2494,8
ID	175,7	527,2	197,0	1558,8
IE	178,6	535,7	200,1	1583,7
I	50,1	176,8	65,2	481,4
SFA	593,4	2398,2	1065,9	28778,4
SFB	32,3	114,0	42,0	310,3
SFC	1462,6	5163,8	1902,4	14056,9
SFD	660,7	2670,2	1186,8	32042,8

O polígono SFE não tinha transecto e por isso não foi possível estimar seu volume e conseqüentemente o tempo de residência da água nesse braço.

As classificações do estado trófico do reservatório em função do seu tempo de residência são bem diversificadas. Tundisi e Straskraba, em seu livro Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos, classificam os reservatórios em três grupos, segundo o seu tempo de detenção R;

- a) $R \leq 15$ dias: Curto (reservatório com correntes longitudinais rápidas)
- b) R entre 15 e 365 dias: Médio
- c) $R > 365$ dias: Longo

O Instituto Ambiental do Paraná apresenta uma classificação de qualidade da água do reservatório (IQAR) que considera limites para diversos parâmetros, dentre eles o tempo de residência. Dessa forma, esses parâmetros recebem pontuação para formarem, em conjunto, o índice que define a classe ao qual pertencem. Os limites do tempo de residência adotados foram:

- a) $TR < 10$ dias: Classe I – não impactado á muito pouco degradado
- b) TR entre 11 e 40 dias: Classe II – pouco degradado
- c) TR entre 41 e 120 dias: Classe III – moderadamente degradado
- d) TR entre 121 e 365 dias: Classe IV – criticamente degradado a poluído
- e) TR entre 366 e 550 dias: Classe V – muito poluído
- f) TR acima de 551 dias: Classe VI – extremamente poluído

Analisando os dados da tabela 11 sob o foco da vazão média, comumente usado nos cálculos de tempo de residência, observa-se que somente o braço direito do rio São Francisco apresenta um tempo de residência superior a 365 dias.

Deve-se, portanto, considerar que a vazão usada para transferência de dados para esse braço do reservatório foi medida em um afluente do rio das Velhas, rio Bicudo, que por sua vez é afluente do rio São Francisco. A análise da produção de água nessa subbacia é bem inferior à bacia do rio Indaiá e às demais subbacias formadoras do reservatório de Três Marias; Paraopeba e Pará. Entretanto, a transferência de dados de qualquer outra bacia poderia implicar em erros significativos já que a área de drenagem dessa área aquícola (SFA) e sua localização e, portanto, características físicas, são bem distintas das demais subbacias formadoras do reservatório.

5. AVALIAÇÕES DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Os tempos de residência apresentados na tabela 11 foram calculados para quatro condições diferentes de vazões afluentes. Entretanto, o volume de água presente no corpo de água foi considerado o mesmo em qualquer uma das condições de vazão adotada, ou seja, com o reservatório em seu nível de deplecionamento, na cota 556,2m.

Na prática fica difícil estabelecer qualquer previsão de nível do reservatório em função somente da vazão afluente, uma vez que as variáveis que interferem no deplecionamento do reservatório são várias outras além das condições hidrológicas. Dessa forma a curva de permanência dos níveis do reservatório apresentada no gráfico 11, feita a partir do histórico da operação desde 1963, mostra a probabilidade de ocorrência de cada nível de água operativo.

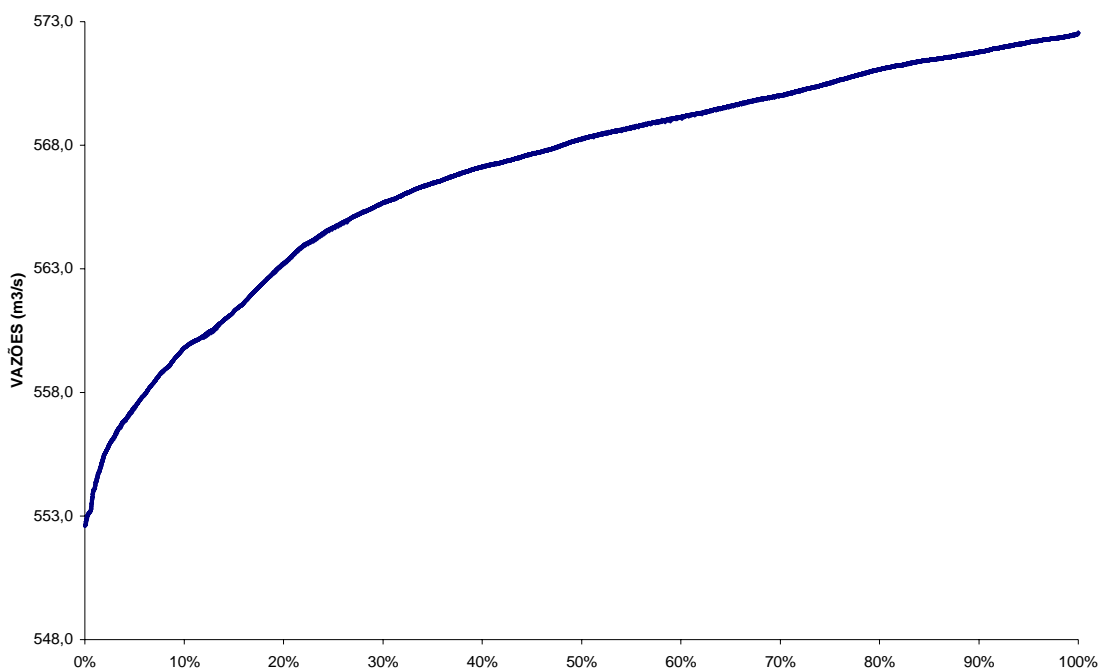


FIGURA 11 - Curva de permanência dos níveis operativos do reservatório de Três Marias

O gráfico 12 mostra a permanência das vazões afluentes ao reservatório calculada a partir de todos os braços formadores do reservatório.

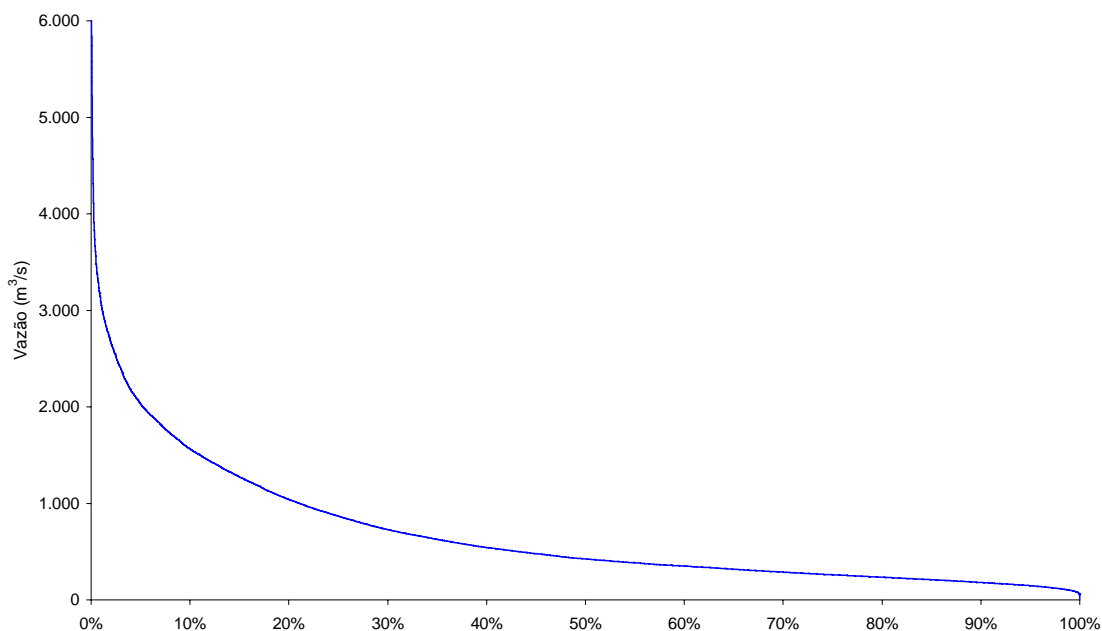


GRÁFICO 12 – Curva de Permanência das vazões afluentes ao reservatório de Três Marias

Fonte: Cemig, 2006

O nível de deplecionamento usado nesse estudo corresponde a uma permanência de 97% do tempo, que significa dizer que o nível de água do reservatório de Três Marias só foi inferior a 556,20m em 3% do tempo de operação.

Cabe destacar que para cada nível de água do reservatório ou para cada vazão afluente adotada o tempo de residência seria diferente. Para vazões maiores do que a média o tempo de residência tende a diminuir bastante já que a renovação é extremamente dependente das velocidades, que por sua vez são função das vazões.

O gráfico 13 mostra as oscilações dos níveis de água do reservatório nos últimos seis anos. A análise do gráfico mostra que nos últimos 3 anos os deplecionamentos têm sido bem inferiores e com recuperação do nível máximo normal no período chuvoso, o que é esperado para esse tipo de reservatório, que tem como função além da geração de energia, a regularização de cheias.

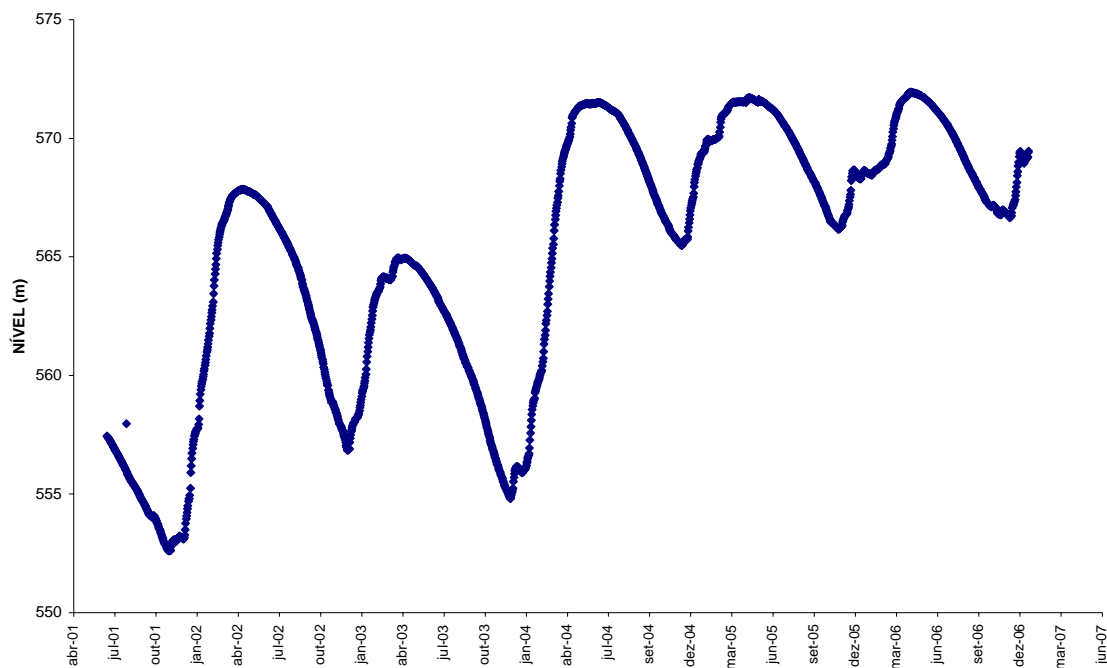


GRÁFICO 13 – Níveis de água do reservatório de Três Marias nos últimos seis anos

5. SEDIMENTOS

O sedimento proveniente da bacia hidrográfica e transportado pelo curso de água tende a se depositar quando ocorre transformações na capacidade de transporte da massa de água, como é o caso da presença de reservatórios que alteram a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, a capacidade de transporte de sedimentos.

Esses sedimentos que se depositam no reservatório, além dos minerais próprios de sua composição, são ainda, catalisadores e fixadores de outros agentes químicos e matéria orgânica. Dessa forma, o sedimento pode ser considerado um indicador do estado trófico do reservatório.

Conforme apresentado por Prada e Oliveira, 2000, os sedimentos têm papel fundamental na ciclagem interna de nutrientes nos reservatórios, pois a carga interna de nutrientes vinda destes pode ser da mesma ordem de grandeza ou até maior do que aquela advinda de entradas externas.

Portanto, a deposição de sedimento e a qualidade do sedimento existente é mais uma variável que deve ser avaliada quando se pretende definir áreas aquícolas de produção dentro dos Parques Aquícolas.

Em um trabalho de pesquisa desenvolvido pela Embrapa Cerrados em parceria com a ANA e ANEEL, foi avaliado o comportamento hidrosedimentológico da bacia do rio São Francisco por meio da análise do fluxo de sedimentos em suspensão nas estações fluviométricas sobre a gestão da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, buscando fornecer uma ferramenta de apoio aos estudos ambientais. A conclusão do estudo é que a produção específica de

sedimentos em suspensão na bacia do rio Pará é muito baixa ($32\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{ano}$), enquanto que essa produção ao longo do rio Paraopeba passa de muito alta ($613\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{ano}$) na região mais a montante, a alta á medida que se aproxima de sua foz ($290\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{ano}$).

Entretanto, outras análises que consideram estações sedimentológicas nos rios Indaiá e Borrachudo apontam esses rios como aqueles com maiores vazões específicas de sedimentos em suspensão, correspondendo ao dobro da produção específica do rio Paraopeba.

Além desse conhecimento da produção de sedimentos de cada subbacia formadora do reservatório seria mais importante ainda, o conhecimento da deposição do sedimento carreado pelo curso de água em cada Parque Aquícola.

A Cemig fez um levantamento de batimetria em algumas seções do reservatório de Três Marias para verificar alterações no volume útil dessa barragem por meio de comparações com a batimetria feita nas mesmas seções em 1975. As seções analisadas foram na foz do rio Borrachudo, foz do rio Indaiá e no rio Paraopeba conforme gráficos 14,15 e 16 respectivamente.

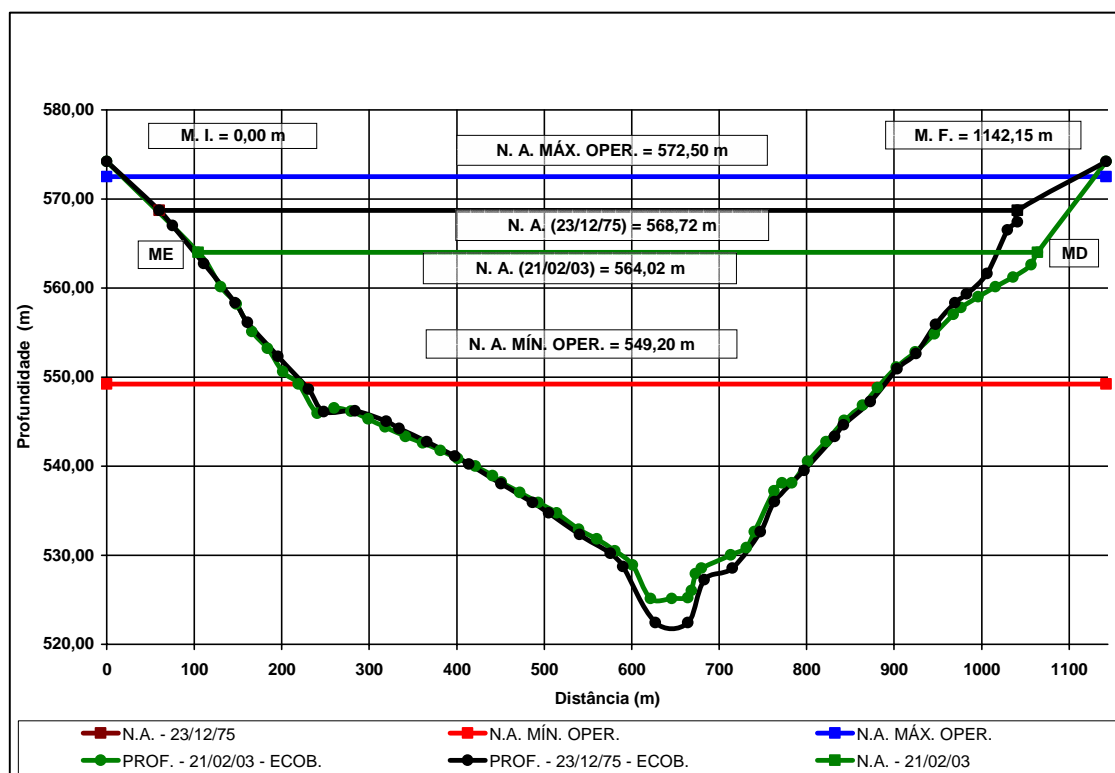


GRÁFICO 14 – Levantamento Batimétrico - Seção 2 - rio Borrachudo

Fonte: Cemig, 2003

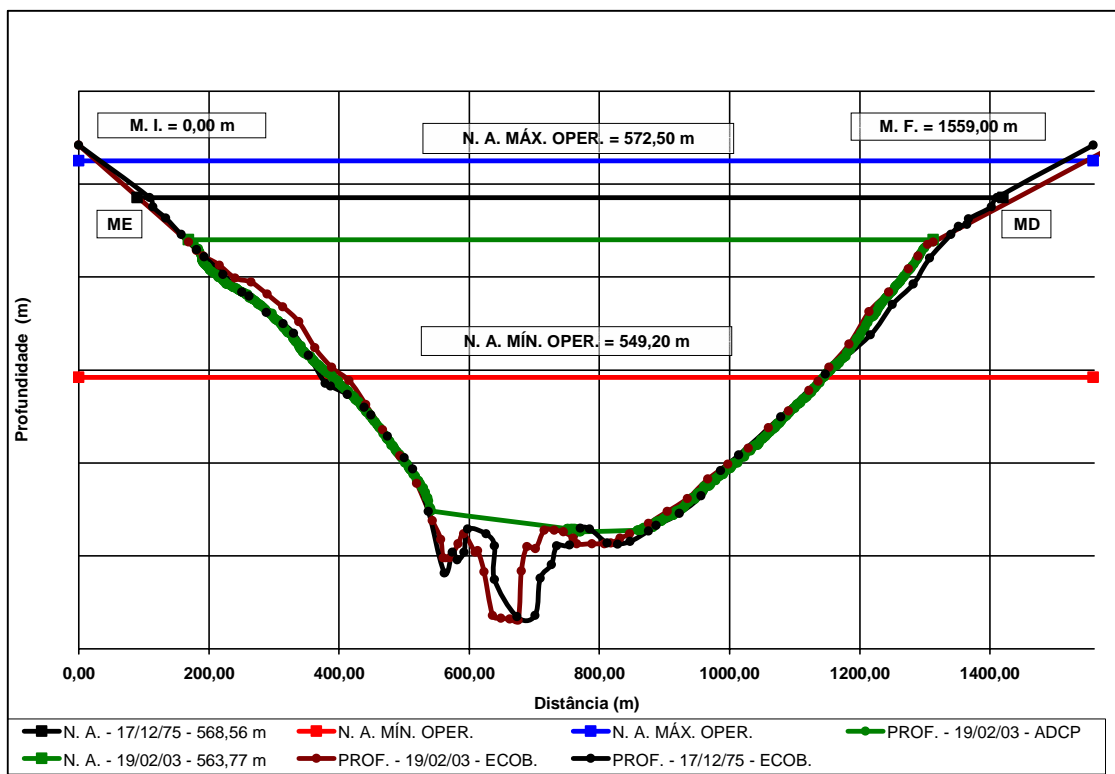


GRÁFICO 15 – Levantamento Batimétrico - Seção 2 - rio Indaiá em Porto Indaiá de Baixo
Fonte: Cemig, 2003

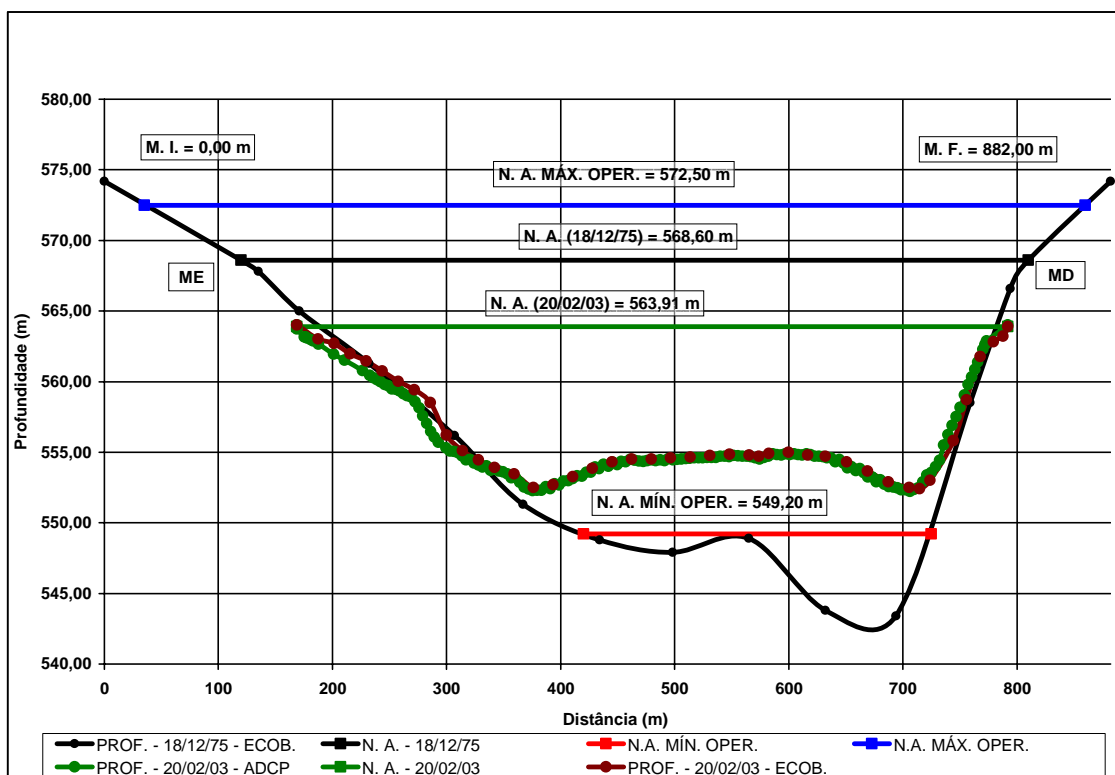


GRÁFICO 16 – Levantamento Batimétrico – Seção 6 - rio Paraopeba
Fonte: Cemig, 2003

As comparações de seções levantadas em 2003 com as seções de 1975 mostram que:

- não existe nenhuma redução de volume útil na secção do rio Indaiá, as duas seções são coincidentes;
- a pequena alteração presente na foz do rio Borrachudo é insignificante sob o ponto de vista de área ocupada por sedimento não chegando a representar 1% da área da seção transversal;
- a maior presença de sedimentos pode ser observada na seção do rio Paraopeba, onde o sedimento ocupa 5m acima do Na mínimo operativo, representando uma perda de aproximadamente 14% da área da seção transversal.

Como o método de comparação das seções é inquestionavelmente a melhor forma de se conhecer a dinâmica de sedimentos ao longo do tempo, pode-se concluir com segurança, que apesar do rio Indaiá possuir a maior produção específica de sedimentos em suspensão, as oscilações de níveis de água decorrentes da operação do reservatório de Três Marias, principalmente o forte deplecionamento ocorrido em 2001, transportaram o sedimento para áreas de volume morto do reservatório.

6. CONCLUSÕES

A caracterização hidrológica dos Parques Aquícolas permitiu uma estimativa das vazões afluentes aos braços do reservatório, podendo dessa forma estimar os tempos de residência diferenciados em cada local.

Uma comparação dos tempos de residência encontrados para a vazão média de longo termo nos braços e no reservatório todo mostra a necessidade de estimativas de renovação da água diferenciadas para cada local que se pretenda avaliar a capacidade de suporte, tal como foi feito nesse estudo.

O tempo de residência do reservatório para o nível de deplecionamento usado foi de 50 dias, enquanto que, para o braço do rio Indaiá esse tempo equivale a menos que dois dias para a mesma condição de vazão e nível, e, por volta de duzentos dias em outros braços.

A análise do braço na margem direita do rio São Francisco indica um tempo bastante elevado para renovação da água nesse local mesmo para condições de vazões médias, o que pode ser atribuído á escassez de drenagem ou problemas no uso de dados da subbacia do rio das Velhas, necessitando, portanto, de uma análise mais criteriosa dessa área.

Os tempos de residência calculados para as áreas aquícolas selecionadas foram função de diferentes vazões que vão desde a vazão média, para se formar uma idéia do comportamento médio do corpo de água, até vazões extremamente pequenas identificadas como a mínima do histórico de dados, com baixíssima probabilidade de ocorrência.

Dessa forma, quatro diferentes vazões foram usadas no cálculo do tempo de residência e isso explica a grande variabilidade nos valores encontrados que vão de 1,2 dias a quase 3000 dias.

O nível de água usado nesse estudo é bastante restritivo já que as profundidades médias são função do nível. Conforme mostram as análises de oscilações do nível do reservatório, a cota igual ou inferior a 556,2m só ocorreu em 3% do tempo de operação do reservatório. Entretanto, deve-se considerar que a análise feita para níveis maiores não necessariamente será menos restritiva, uma vez que o tempo de retenção da água será maior. O cálculo feito para o reservatório todo mostra que esse tempo varia de 50 dias para o reservatório deplecionado a 252 dias para o reservatório em sua cota máxima.

Cabe considerar ainda que o tempo de residência estimado se analisado isoladamente pode não ser conclusivo sobre restrições de implantação de tanques rede nas áreas aquícolas e, portanto, são necessárias análises conjuntas com demais variáveis que interferem direta ou indiretamente na capacidade de suporte dessas áreas aquícolas.

Esse tempo de residência é estimado de forma simplista em relação à hidrodinâmica presente nos reservatórios, portanto, análises de circulações verticais da massa de água ou até mesmo a diferenciação dos movimentos que ocorrem nas margens e no meio do braço de água devem ser considerados em uma investigação mais detalhada de cada área. O próprio efeito de deplecionamento do reservatório ou seu enchimento pode provocar circulações que não são consideradas nesse cálculo hidráulico do tempo de residência.

Os braços do reservatório para os quais se calculou o tempo de residência não são, na prática, sistemas isolados tal como são tratados nessa metodologia. Portanto, o resultado apresentado pode ser considerado como uma primeira tentativa de se conhecer a dinâmica do reservatório, não dispensando a necessidade de levantamentos de campo e avaliações mais detalhadas que requerem modelagem hidrodinâmica, bem como um programa de monitoramento.

BIBLIOGRAFIA

Ações de Monitoramento do Instituto Ambiental do Paraná - IAP - em reservatórios http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap/qdd_agua_4_monit.shtml. Pesquisa feita em fev/07.

Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig. UHE Três Marias Batimetria. Apresentação do Microsoft PowerPoint. 2003. (VER ESSA CITAÇÃO)

Citar dados fornecidos por FURNAS

LIMA, J.E.F.W; SANTOS, P.M.C.; CHAVES,A.G.M. e SCILEWSKI, L.R. Diagnóstico do Fluxo de Sedimento em suspensão na bacia do rio São Francisco. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; ANEEL; ANA, 2001. 108pp

PRADA, S.M, e OLIVEIRA, E. Distribuição de Nutrientes (C, N P) em Testemunhos de Sedimentos do Reservatório das Graças – Cotia – SP. Sociedade Brasileira de Química. 2000.

TUNDISI, J. G. e STRASKRABA, M. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Vol. 9. Gerenciamento da qualidade da água de represas. ILEC. IIE. 258 pp. 2000.