

REV.	DATA	MODIFICAÇÃO	VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO
0	12/12/2012	Emissão Inicial		



Elaboração de Estudos para Concepção de um Sistema de Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul e de um Sistema de Intervenções Estruturais para Mitigação dos Efeitos de Cheias nas Bacias dos Rios Muriaé e Pomba e Investigações de Campo Correlatas

RF34
RELATÓRIO FINAL DE CONCEPÇÃO GERAL DO SIEMEC

ELABORADO:		APROVADO:	
A.M.P.A. F.G.			
VERIFICADO:		COORDENADOR GERAL:	
M.B.S.S.		Marcos Oliveira Godoi CREA: 0605018477	
Nº ANA:		Maria Bernardete Sousa Sender CREA: 0601694180	
		DATA:	FOLHA:
		12/12/2012	
Nº ENGE CORPS:		REVISÃO:	
1069-ANA-RPS-RT-028		0	

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

ANA

Elaboração de Estudos para Concepção de um Sistema de Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul e de um Sistema de Intervenções Estruturais para Mitigação dos Efeitos de Cheias nas Bacias dos Rios Muriaé e Pomba e Investigações de Campo Correlatas

RF34

RELATÓRIO FINAL DE CONCEPÇÃO GERAL DO SIEMEC

ENGENCORPS ENGENHARIA S.A.

1069-ANA-RPS-RT-028

Revisão 0

Novembro/2012

Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L e M
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:
Coordenação:
Agência Nacional de Águas – ANA

Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos – SUM
Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR

Elaboração e execução:
ENGEORPS ENGENHARIA S.A.

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul,
RF34 - Relatório Final de Concepção Geral do SIEMEC
Engecorps - Brasília: ANA, SUM/SPR, 2011.
46p.

1. Recursos hídricos 2. Produção de Água I. Agência
Nacional de Águas (Brasil). II. Superintendência de Usos
Múltiplos e Eventos Críticos – SUM; Superintendência de
Planejamento de Recursos Hídricos - SPR. III. Engecorps

ÍNDICE

	PÁG.
1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
1.2 ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO	4
2. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS EXECUTADOS E INVESTIGAÇÕES DE CAMPO EMPREENDIDAS	5
2.1 TRABALHOS EXECUTADOS	5
2.2 INVESTIGAÇÕES DE CAMPO	10
2.2.1 Levantamentos Cartográficos	10
2.2.2 Levantamentos Geofísicos.....	10
3. CRITÉRIOS ADOTADOS NA CONCEPÇÃO DO SIEMEC.....	16
3.1 CONCEITUAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS ADOTADOS PARA COTEJO E SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS	16
3.1.1 Descrição dos Indicadores.....	17
3.1.2 Metodologia Adotada para Análise das Alternativas.....	18
3.2 METODOLOGIA PARA ESCOLHA DO PERÍODO DE RETORNO.....	19
3.2.1 Considerações Prévias	19
3.2.2 Metodologia Adotada para Seleção do Período de Retorno	21
3.3 ALTERNATIVAS AVALIADAS E ALTERNATIVA SELECIONADA	24
4. CONCEPÇÃO GERAL E FICHA TÉCNICA DO SIEMEC.....	30
4.1 BACIA DO RIO MURIAÉ	30
4.2 BACIA DO RIO POMBA.....	34
5. ARRANJO GERAL DAS INTERVENÇÕES DE NÍVEL 1 DO SUBSISTEMA 1	37
6. RESULTADOS DOS ESTUDOS DE DESEMPENHO DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório constitui um dos produtos do Contrato nº 39/ANA/2010, referente à elaboração de “Estudos para Concepção de um Sistema de Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul e de um Sistema de Intervenções Estruturais para Mitigação dos Efeitos de Cheias nas Bacias dos Rios Muriaé e Pomba e Investigações de Campo Correlatas”, adjudicado pela Agência Nacional de Águas – ANA – à ENGECORPS – Corpo de Engenheiros Consultores S.A., com Ordem de Serviço emitida pela ANA em 03 de janeiro de 2011.

Considerando o que determinam os Termos de Referência (TdR) que orientam o desenvolvimento dos estudos e o que foi previsto no Relatório R01 – Detalhamento do Plano de Trabalho –, este relatório atende ao escopo da Atividade 316 dos TdR e da Atividade 711 da Etapa 700 do referido Plano de Trabalho, apresentando o Relatório Final de Concepção Geral do SIEMEC – o RF34.

O SIEMEC (Sistema de Intervenções Estruturais para Mitigação dos Efeitos das Cheias) foi concebido para as bacias dos rios Muriaé e Pomba, e visa à definição de medidas/intervenções para mitigar os efeitos das cheias nessas áreas, que constituem as sub-bacias da bacia do rio Paraíba do Sul mais vulneráveis a inundações e a acidentes ambientais.

As cidades beneficiadas pelo SIEMEC foram definidas nos TdR e incluem as sedes urbanas dos seguintes municípios:

- ✓ Na Bacia do Rio Muriaé - Sub-Bacia do Rio Carangola: Carangola, Tombos, Porciúncula e Natividade;
- ✓ Na Bacia do Rio Muriaé: Miraí, Muriaé, Laje do Muriaé, Itaperuna, Italva e Cardoso Moreira; e
- ✓ Na Bacia do Rio Pomba: Cataguases e Santo Antônio de Pádua.

As cidades de Miraí, Muriaé, Carangola, Tombos e Cataguases localizam-se em Minas Gerais, e as demais cidades, no Rio de Janeiro.

O SIEMEC foi estruturado em três subsistemas, de acordo com a natureza e objetivos de suas obras constituintes:

- ✓ Subsistema 1 – designado Subsistema de Armazenamento e Detenção de Cheias;
- ✓ Subsistema 2 – denominado Subsistema de Intervenções Estruturais e Melhoramentos Hidráulicos nas Calhas de Rios; e
- ✓ Subsistema 3 – denominado Sistema de Intervenções Estruturais Destinadas ao Desvio Parcial das Vazões de Cheias.

O presente relatório RF34 reúne os principais resultados das atividades desenvolvidas para a concepção das obras integrantes do SIEMEC, apresentados e detalhados em diversos produtos anteriores, incluindo as investigações de campo empreendidas; constitui, assim, uma síntese

conclusiva dos estudos realizados para o SIEMEC, e está estruturado segundo exposto no item seguinte.

1.2 *ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO*

O presente relatório RF34 está estruturado nos seguintes capítulos, após esta Introdução:

- ✓ Capítulo 2: Descrição dos Trabalhos Executados e Investigações de Campo Empreendidas;
- ✓ Capítulo 3: Critérios Adotados na Concepção do SIEMEC;
- ✓ Capítulo 4: Concepção Geral e Ficha Técnica do SIEMEC;
- ✓ Capítulo 5: Arranjo Geral das Intervenções de Nível 1 do Subsistema 1;
- ✓ Capítulo 6: Resultados dos Estudos de Desempenho das Intervenções Propostas; e
- ✓ Capítulo 7: Referências Bibliográficas.

2. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS EXECUTADOS E INVESTIGAÇÕES DE CAMPO EMPREENDIDAS

2.1 TRABALHOS EXECUTADOS

Os estudos que foram desenvolvidos visando à concepção final do SIEMEC tiveram início mediante levantamentos de campo realizados em cada cidade integrante do Sistema, com vistas ao levantamento *in loco* e mapeamento dos problemas de inundações das áreas urbanas, além da coleta de propostas preexistentes, formuladas pelas municipalidades e/ou outras instituições, visando ao controle de cheias nessas cidades. Esses levantamentos foram apresentados no relatório R30.

Na sequência, os estudos consubstanciados no relatório R31 analisaram em profundidade a gênese das cheias nas bacias dos rios Pomba e Muriaé, avaliando a topologia das bacias, suas principais características climáticas, fisiográficas, hidromorfológicas e de uso e ocupação do solo, além das vazões de cheia geradas pelos modelos hidrológicos desenvolvidos no âmbito do SISPREC (Sistema de Previsão de Cheias). Tais estudos concluíram, em síntese, que os episódios de enchentes registrados nas áreas urbanas de interesse devem-se, predominantemente, às vazões de cheia geradas nas regiões de cabeceiras das bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé.

No relatório R32, foi apresentado um diagnóstico hidráulico detalhado das cidades beneficiadas pelo SIEMEC, com base nos estudos apresentados no relatório R30, no que se refere à coleta de dados efetuada em campo nas cidades do SIEMEC, e nos estudos consubstanciados no relatório R05, no que se refere à simulação hidrológica realizada com o *software* HEC-HMS, e à simulação hidráulica, realizada com o *software* HEC-RAS.

Para efetuar o diagnóstico hidráulico das cidades do SIEMEC, utilizaram-se as vazões provenientes do modelo hidrológico de vazões extremas, apresentadas no Quadro 2.1.

QUADRO 2.1 – VAZÕES EXTREMAS PARA AS CIDADES DO SIEMEC PARA OS DIVERSOS TEMPOS DE RETORNO (TR) SIMULADOS

Cidade	Vazão (m ³ /s)				
	TR 2 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
Carangola	115,2	234,3	301,5	354,7	409,2
Tombos	124,9	259,8	336,5	396,8	459,2
Porciúncula	147,5	309,0	401,1	474,0	548,4
Natividade	213,3	429,6	551,6	646,5	743,6
Miraí	54,8	108,3	138,3	161,5	185,2
Muriaé (rio Preto)	64,5	137,0	178,3	211,1	244,7
Muriaé (rio Muriaé)	96,8	186,8	236,6	275,0	314,1
Muriaé (rio Preto + rio Muriaé)	161,3	323,6	414,9	486,1	558,8
Laje do Muriaé	320,5	628,9	800,6	933,5	1.076,1
Itaperuna	573,4	1.138,6	1.456,6	1.701,9	1.970,8
Italva	721,5	1.418,4	1.807,8	2.117,6	2.435,3
Cardoso Moreira	753,5	1.490,4	1.904,1	2.232,4	2.568,3
Cataguases	660,8	1.256,4	1.584,2	1.836,2	2.091,9
Santo Antônio de Pádua	885,0	1.670,3	2.101,2	2.430,7	2.765,0

Elaboração ENGEORPS, 2012

Essas vazões foram os dados de entrada para as simulações realizadas com o modelo hidráulico (software HEC-RAS).

O Quadro 2.2 apresenta o resultado final do diagnóstico hidráulico, representado pelas vazões de restrição obtidas para todas as cidades contempladas no SIEMEC.

QUADRO 2.2 – VAZÃO DE RESTRIÇÃO DAS CIDADES DO SIEMEC

Cidade	Seção Topobatimétrica	Vazão de Restrição (m ³ /s)	TR (anos)
Cataguases	125875,80	<660,8	<2
	125088,50	1.256,4	10
	123716,10	1.256,4	10
	123363,40	2.091,9	100
	121758,80	<660,8	<2
	121193,60	<660,8	<2
	118887,40	1.256,4	10
Santo Antônio de Pádua	31156,28	1.670,3	10
	29244,38	1.670,3	10
	28420,00	885,0	<2
	27614,20	1.670,3	10
	27178,76	1.670,3	10
	26296,24	2.765,0	>100
	23575,94	1.670,3	10

Continua...

Continuação.

QUADRO 2.2 – VAZÃO DE RESTRIÇÃO DAS CIDADES DO SIEMEC

<i>Cidade</i>	<i>Seção Topobatimétrica</i>	<i>Vazão de Restrição (m³/s)</i>	<i>TR (anos)</i>
Carangola	116713,20	234,3	10
	115089,00	115,2	<2
	113734,20	115,2	<2
	112707,80	354,7	50
Tombos	73686,85	459,2	>100
	72660,20	259,8	10
	71988,95	336,5	25
	70549,56	396,8	50
	68872,21	396,8	50
Porciúncula	56585,14	309,0	10
	55852,02	147,5	<2
	55412,94	474,0	50
Natividade	42826,73	213,3	<2
	41312,75	213,3	<2
	38922,77	429,6	10
	38642,03	213,3	<2
	38359,14	213,3	<2
Miraiá	265938,60	54,8	<2
	264761,90	54,8	<2
	262549,90	108,3	10
	261221,20	54,8	<2
Muriaé Montante Confluência Rio Preto	219809,60	96,8	<2
	219411,80	186,8	10
	219157,20	96,8	<2
	218664,80	96,8	<2
	218070,50	186,8	10
	217885,90	186,8	10
	217441,40	96,8	<2
	217158,70	96,8	<2
	216762,90	96,8	<2
	216488,00	186,8	10
Muriaé Jusante Confluência Rio Preto	215890,30	161,3	<2
	215708,10	161,3	<2
	215033,40	161,3	<2
	214583,30	323,6	10
	214178,10	161,3	<2
	213774,00	323,6	10
	213304,00	558,8	>100
	212829,50	486,1	50
	212426,70	486,1	50
	212341,50	323,6	10
	212256,8	323,6	10
	212073,4	161,3	<2
	211802,8	161,3	<2

Continua...

QUADRO 2.2 – VAZÃO DE RESTRIÇÃO DAS CIDADES DO SIEMEC

<i>Cidade</i>	<i>Seção Topobatimétrica</i>	<i>Vazão de Restrição (m³/s)</i>	<i>TR (anos)</i>
Laje do Muriaé	163438,00	320,5	<2
	162414,00	628,9	10
Itaperuna	124236,60	573,4	<2
	120967,00	1.701,9	50
	120489,00	1.701,9	50
Italva	72487,82	721,5	<2
Cardoso Moreira	58002,91	753,5	<2
	56087,80	753,5	<2

Elaboração ENGECORPS, 2012

Os estudos realizados e apresentados no relatório R32 possibilitaram avaliar o comportamento das cheias nos rios Pomba, Muriaé e Carangola, indicando os locais em que ocorrem enchentes decorrentes da ineficiência do sistema de macrodrenagem e, principalmente, da ocupação irregular das áreas urbanas a serem beneficiadas pelo SIEMEC.

Tais resultados confirmaram a vulnerabilidade das cidades do SIEMEC à ocorrência de cheias: à exceção da cidade de Tombos, onde o leito menor do rio Carangola comporta uma vazão de 10 anos de período de retorno, as demais cidades são afetadas por cheias com Períodos de Retorno inferiores há 2 anos.

O quadro abaixo, reproduzido do relatório R32, ilustra as conclusões citadas acima.

QUADRO 2.3 – ÁREAS INUNDADAS NAS CIDADES DO SIEMEC

<i>Cidade</i>	<i>Área inundada (km²)</i>			<i>Correspondência da Área Inundada em Número de Quarteirões Atingidos*</i>		
	<i>TR 25</i>	<i>TR 50</i>	<i>TR 100</i>	<i>TR 25</i>	<i>TR 50</i>	<i>TR 100</i>
Carangola	0,77	0,81	0,89	77	81	89
Tombos	0,38	0,41	0,48	38	41	48
Porciúncula	0,81	1,03	1,25	81	103	125
Natividade	1,77	1,90	2,11	177	190	211
Itaperuna	2,03	2,12	2,20	203	212	220
Italva	2,27	2,41	2,49	227	241	249
Cardoso Moreira	1,56	1,60	1,67	156	160	167
Muriaé	1,40	1,42	1,76	140	142	176
Miraí	0,17	0,18	0,21	17	18	21
Laje do Muriaé	0,52	0,53	0,59	52	53	59
Cataguases	2,00	2,17	2,47	200	217	247
Santo Antônio de Pádua	3,57	3,74	3,89	357	374	389

*Considerando um quarteirão quadrado com 100 metros de lado
Elaboração ENGECORPS, 2012

Dando continuidade aos estudos, o relatório R33 apresentou a consolidação dos locais propícios para implantação das obras do SIEMEC, ilustrados na Figura 2.1.

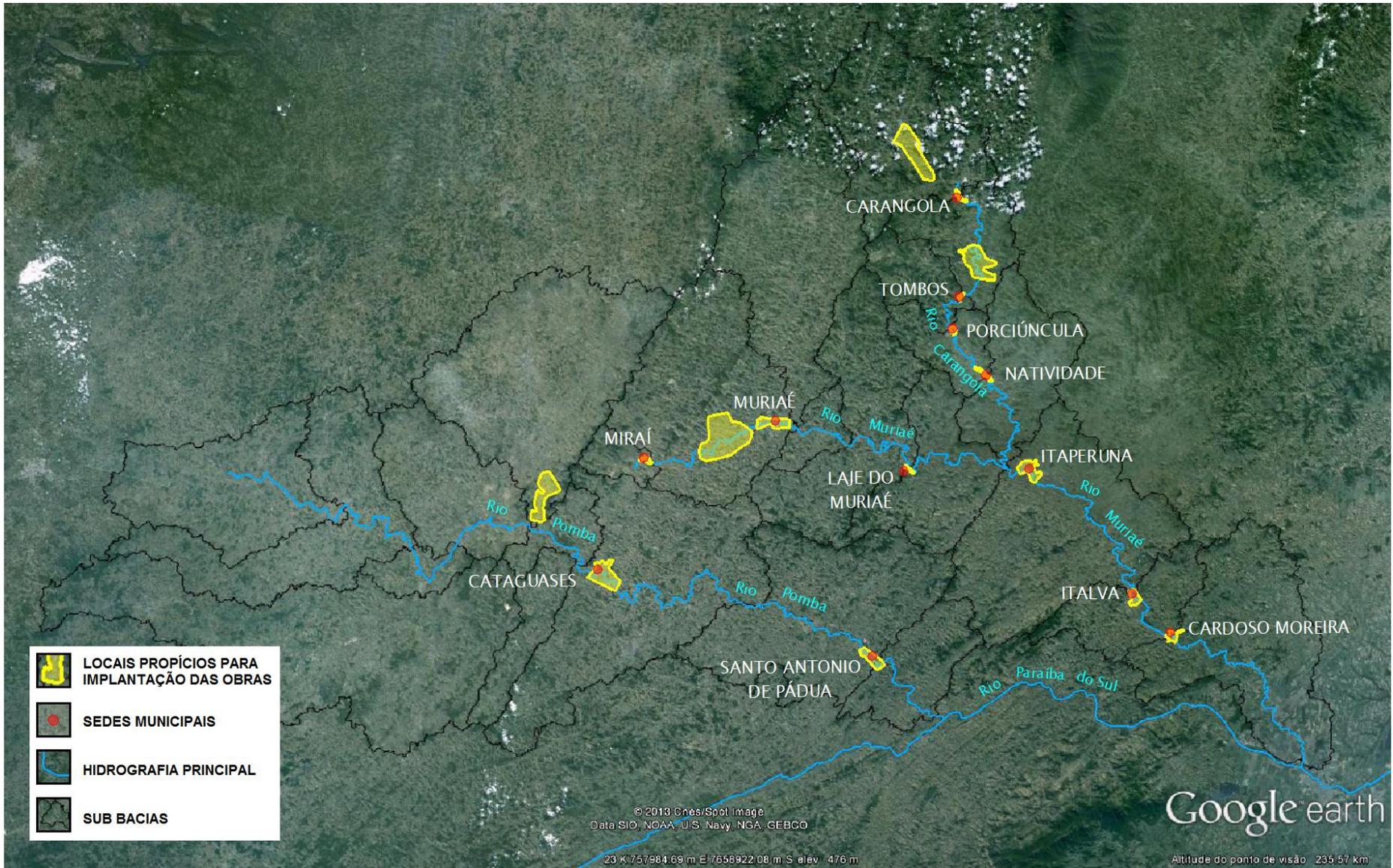


Figura 2.1– Locais propícios para implantação das obras do SIEMEC

Esses locais contemplam áreas previstas para implantação das barragens integrantes do Subsistema 1 do SIEMEC (barragens Carangola, Tombos, Xopotó e Muriaé) e áreas urbanas atravessadas pelos cursos d'água, para as quais foi prevista a implantação de obras do Subsistema 2.

Para essas áreas, foram realizados os levantamentos de campo a seguir descritos.

2.2 INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

2.2.1 Levantamentos Cartográficos

Os Levantamentos Cartográficos foram contratados pela ENGECORPS à empresa Geomensura – Engenharia e Aerolevantamento, e foram executados sob a orientação, a supervisão e o acompanhamento da equipe da ENGECORPS.

Os trabalhos englobaram as seguintes etapas:

- ✓ Cobertura aerofotogramétrica em escala de 1:30.000 colorida, de modo a recobrir com segurança as áreas a serem restituídas na escala de 10.000, totalizando 207 km²;
- ✓ Apoio de campo via GPS de dupla frequência, amarrado nos vértices SAT e RN's do IBGE;
- ✓ Aerotriangulação digital dos blocos de aerofotos;
- ✓ Restituição aerofotogramétrica digital da referida área de 207 km², na escala de 1:10.000, com curvas de nível de 5 em 5 metros e pontos cotados, levantando-se todos os detalhes visíveis e identificáveis nas aerofotos, desde que compatíveis com a escala de representação, numa área de 207 km², contemplando todos os polígonos indicados na Figura 2.1, antes apresentada;
- ✓ Edição final e formatação dos desenhos resultantes, em DWG.
- ✓ Confecção de ortofotocartas 1:10.000 ajustadas aos arquivos da restituição.

2.2.2 Levantamentos Geofísicos

Os Levantamentos Geofísicos foram contratados pela ENGECORPS à empresa Alta Resolução, e foram executados sob a orientação, a supervisão e o acompanhamento da equipe da ENGECORPS. Envolveram duas grandes etapas de trabalho:

- ✓ Visita técnica de um geólogo da ENGECORPS aos locais propostos para implantação das barragens Carangola, Tombos, Xopotó e Muriaé;
- ✓ Levantamento Geofísico – execução de Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) nos locais propostos para implantação das barragens.

A campanha geofísica consistiu da execução de 40 SEVs (SEV1 a SEV40), sendo distribuídas 10 SEVs para cada local investigado. Estas sondagens foram programadas para aferir os perfis geoeletricos e, principalmente, estimar a posição do nível d'água mais superficial (NA) e, secundariamente, o topo do maciço rochoso.

Para todas as SEVs foi gerado um modelo geoeletrico que ajustou bem a curva de campo.

Os modelos foram interpretados de modo a fornecer uma estimativa inicial da profundidade tanto do nível d'água quanto do material rochoso abaixo dos pontos investigados.

As Figuras 2.2 a 2.5 apresentam a localização das SEVs executadas.



Figura 2.2 - Localização das SEVs realizadas nas ombreiras do rio Muriaé



Figura 2.3 - Localização das SEVs realizadas nas ombreiras do rio Tombos



Figura 2.4 - Localização das SEVs realizadas nas ombreiras do rio Carangola



Figura 2.5 - Localização das SEVs realizadas nas ombreiras do rio Xopotó

3. CRITÉRIOS ADOTADOS NA CONCEPÇÃO DO SIEMEC

Para a concepção das obras do SIEMEC, foram avaliadas e comparadas diferentes alternativas de arranjos de obras, para seleção da melhor opção, tal como apresentado no relatório R33.

No mesmo relatório, também foi selecionado o Período de Retorno a ser utilizado para dimensionamento das obras.

A seguir, apresentam-se os critérios adotados, a metodologia utilizada para cotejo e seleção das alternativas e para escolha do Período de Retorno e, finalmente, a alternativa selecionada, cujo detalhamento é objeto do Capítulo 4 deste relatório.

3.1 CONCEITUAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS ADOTADOS PARA COTEJO E SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS

A avaliação de alternativas de projeto não deve ser forçosamente efetuada a partir do atendimento a apenas um critério. É importante que sejam considerados ao mesmo tempo aspectos econômicos, sociais e ambientais, bem como quaisquer outros que se mostrarem relevantes à comparação de um determinado conjunto de opções. Para a realização de uma análise global, são necessários métodos baseados na otimização do resultado de um grupo de funções (CASTRO, 2002).

Nesse tipo de análise, há sempre um conjunto ótimo de soluções, atendendo de formas diferentes aos critérios envolvidos. Este conjunto é chamado de “conjunto Pareto ótimo”, no qual, só é possível a melhora em relação a um critério, com a piora em relação a outro (CASTRO, 2002).

Os critérios são compostos por um ou mais indicadores, sendo estes definidos como um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que fornece informações sobre o estado de um fenômeno (CASTRO, *op. cit.*).

Neste trabalho, foram definidos dois critérios principais para comparação e seleção de alternativas: um deles caracteriza o fator econômico envolvido na intervenção e o outro, caracteriza o impacto das obras, ou seja:

- ✓ **Critério econômico:** representa a variável econômica e o esforço de investimentos por parte do poder público, bem como o porte da obra;
- ✓ **Critério impacto da obra:** refere-se aos impactos sociais e ambientais decorrentes da implantação das obras.

Os indicadores que compõem os critérios definidos estão descritos a seguir.

3.1.1 Descrição dos Indicadores

Para a definição dos indicadores foram identificadas, inicialmente, as vantagens e desvantagens das intervenções constituintes de cada um dos três subsistemas de obras do SIEMEC à luz dos critérios acima mencionados, descritas a seguir:

- ✓ A concepção do Subsistema 1 tem por diretrizes a implantação de reservatórios para contenção de cheias, que visam reduzir localmente a vazão de pico, diminuindo a onda de cheia nos trechos a jusante. Com a redução dos picos de cheia, esse subsistema gera um impacto de menores proporções em relação aos demais subsistemas no que se refere a desapropriações/relocação de populações urbanas. No entanto, resulta em um passivo ambiental e social decorrente da área ocupada pelo lago da barragem;
- ✓ A concepção do Subsistema 2 tem por diretriz básica a adoção de soluções que garantam o incremento de capacidade das calhas fluviais que atravessam as cidades do SIEMEC, de forma a acomodar adequadamente a cheia de projeto sem ocasionar transbordamentos e/ou inundações nas áreas ribeirinhas. Esse subsistema gera impactos sociais importantes, visto que é necessária a desapropriação de lotes nas áreas ribeirinhas para implantação das obras;
- ✓ A concepção do Subsistema 3 busca incorporar soluções que minimizem os problemas de desapropriação e, em especial, de remoção/relocação de moradores ribeirinhos. Desta forma, como critério geral, considera a construção de dispositivos que desviem parte do fluxo da calha principal para um “by-pass” construído em áreas disponíveis. Não foram previstas obras do Subsistema 3, tendo em vista que as estruturas integrantes dos outros dois Subsistemas se mostraram suficientes para os objetivos pretendidos.

Com base no exposto, foram definidos os indicadores que compõem os critérios estabelecidos, úteis a um comparativo entre diferentes alternativas de obras integrantes dos Subsistemas 1 e 2, descritos a seguir.

Indicador componente do critério econômico

Para representação da variável econômica e do esforço de investimentos por parte do poder público, bem como do porte da obra, o indicador definido foi o *custo total de implantação das obras*.

Indicadores componentes do impacto da obra

Para representação dos impactos socioambientais decorrentes da implantação das obras foram definidos os seguintes indicadores:

- ✓ *Área alagada pelos reservatórios (I_a):* representa impactos de natureza ambiental *strictu sensu* e também social, bem como o porte da intervenção, visto que quanto mais alta for determinada barragem, maior será a área por ela alagada;

- ✓ *Desapropriação urbana (I_d):* representa os impactos sociopolíticos de uma determinada alternativa, visto que a relocação de população tende a gerar insatisfações, mudanças de cotidiano e desgaste político.

Para comparação das alternativas, a ANA recomendou adotar peso 9 para o indicador sociopolítico e peso 1 para o indicador ambiental.

Os indicadores que caracterizam o impacto das obras, ou seja, a área alagada e a desapropriação urbana foram calculados considerando uma relação entre as áreas a serem desapropriadas ou alagadas associadas a cada alternativa e à maior área dentre elas. Essa relação é expressa nas seguintes equações:

$$I_d = \frac{A_{maxdes} - A_{des}}{A_{maxdes}}$$

$$I_a = \frac{A_{maxala} - A_{ala}}{A_{maxala}}$$

Em que, I_d e I_a são, respectivamente, os indicadores de desapropriação urbana e área alagada; a variável "A" é a área; os índices "maxala" e "maxdes" referem-se às máximas áreas resultantes de todas as alternativas; e os índices "ala" e "des" referem-se às áreas alagadas ou desapropriadas pelas obras da alternativa em análise.

Os valores de I_d e I_a têm variação de 0 a 1, sendo que 1 é o melhor resultado e 0 o pior. A composição final dos indicadores (I) foi obtida pela ponderação dos mesmos, com seus respectivos pesos, de acordo com a seguinte equação:

$$I = I_a \times 0,1 + I_d \times 0,9$$

3.1.2 Metodologia Adotada para Análise das Alternativas

Segundo exposto, a avaliação das intervenções constituintes dos Subsistemas 1 e 2 do SIEMEC foi realizada a partir de dois critérios: a variável econômica, representada pelo custo total de implantação das obras integrantes de cada alternativa; e o impacto gerado pelas obras, resultante da agregação dos indicadores propostos – área alagada pelos reservatórios do Subsistema 1 e área de desapropriação urbana necessária à execução das obras do Subsistema 2.

Tal avaliação foi realizada por meio de um gráfico, denominado "Gráfico de Pareto", onde foi plotada, no eixo das ordenadas, a composição dos indicadores do critério de impacto das obras para cada uma das alternativas, e no eixo das abscissas, o valor do indicador do critério econômico.

O Gráfico de Pareto (Figura 3.1) recebe este nome em referência a Pareto, economista e sociólogo que introduziu o conceito de "solução ideal"; tal solução é aquela atingida quando os critérios considerados não têm potencial para representar melhor performance das

alternativas, simultaneamente. A solução ideal é chamada de *optimum de Pareto*, (MOURA, 2004).

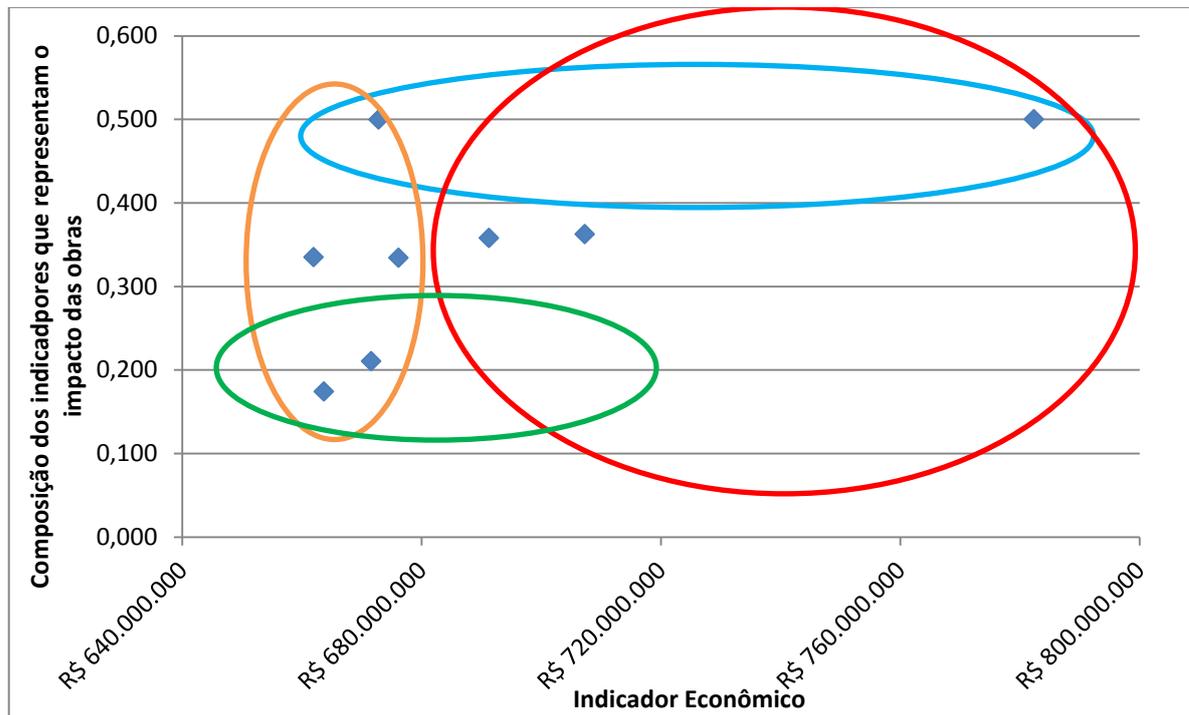


Figura 3.1– Gráfico de Pareto

No exemplo do gráfico acima, os pontos que se localizam dentro da elipse azul representam as melhores alternativas em relação ao impacto das obras, enquanto os que se localizarem dentro da elipse verde representam as piores alternativas em relação a esse critério.

No que se refere ao critério econômico, as alternativas que se localizam na elipse laranja são as mais favoráveis e as que se localizam na elipse vermelha são as mais desfavoráveis.

Nesse caso, o ótimo de Pareto localiza-se na intercepção das elipses laranja e azul.

3.2 METODOLOGIA PARA ESCOLHA DO PERÍODO DE RETORNO

3.2.1 Considerações Prévias

A escolha do Período de Retorno a ser adotado para o projeto de determinada obra de drenagem é feita a partir do tipo e da importância da mesma para a população a ser beneficiada e em função da sua localização e das características da sua área de entorno.

Os critérios para a escolha do Período de Retorno devem ter detalhamento compatível com a etapa e a natureza dos estudos desenvolvidos, não demandando um grande detalhamento em estudos de planejamento e nem a adoção de métodos expeditos no caso da elaboração de projetos executivos.

Destacam-se alguns fatores que devem ser ponderados nessa escolha:

- ✓ Densidade da ocupação antrópica da região;
- ✓ Volume de tráfego do sistema viário do local;
- ✓ Proximidade de equipamentos públicos ou comunitários, tais como escolas, hospitais, estádios, estações ferroviárias ou de metrô, terminais de ônibus, aeroportos, “shoppings”, etc.;
- ✓ Tipo de obra;
- ✓ Porte da obra;
- ✓ Recursos financeiros envolvidos no empreendimento;
- ✓ Relação Custo x Benefício do investimento.

Na realidade do cenário brasileiro, observa-se o emprego de diversos critérios para definição do Período de Retorno, que vão desde as recomendações dos organismos normalizadores, institutos de pesquisa, agentes de financiamento até as análises de custo x benefício, que levam em conta os danos gerados por chuvas maiores que as de projeto.

O quadro a seguir mostra um resumo de todos os critérios analisados para seleção do Período de Retorno a ser adotado para dimensionamento das obras do SIEMEC, voltados à proteção contra cheias de áreas urbanas.

QUADRO 3.1 – RESUMO DOS CRITÉRIOS ANALISADOS PARA A ESCOLHA DO PERÍODO DE RETORNO (TR)

<i>Critério</i>	<i>TR (Anos)</i>	<i>Entidade ou Autor</i>	<i>Risco de falha (vida útil da obra de 50 anos)</i>
Alto Impacto	>25	PMSP,1999	TR 50 = 63,58%
Médio impacto	>25		TR 100 = 39,50%
Baixo Impacto	25		87,01%
Localização: zona urbana ou de expansão urbana	100	DAEE, 2007	39,50%
Tipo de obra e ocupação da área: macrodrenagem, áreas comerciais e residenciais.	50	ABRH, 1995	63,58%
	100		39,50%
Proteção às cheias a cidade de Muriaé para um TR de 100 anos	100	POTAMOS, 2010	39,50%
Custo/Benefício	10*	MARTINS, J.R.S. et al, 2007	99,48%
	5*	ENGEORPS, 2011	99,99%
	10	ENGEORPS, 2011	99,48%
	25	ENGEORPS, 2011	87,01%
	50	ENGEORPS, 2011	63,58%

*Resultados não adotados no dimensionamento das obras.
Elaboração ENGEORPS, 2012.

Observa-se que as diretrizes dos órgãos e estudos pesquisados tendem a orientar o dimensionamento das obras de macrodrenagem para Períodos de Retorno entre 50 e 100 anos. Entretanto, a escolha de Períodos de Retorno dessa ordem de grandeza, via de regra, remete a um custo elevado.

A análise de custo-benefício tende a indicar Períodos de Retorno mais baixos que os previstos nas diretrizes comumente utilizadas, porque o acréscimo no valor da obra para um Período de Retorno maior é menor que o benefício gerado por esse aumento. Além disso, a escolha do Período de Retorno analisando apenas o custo-benefício tende a favorecer a população com maior poder econômico, visto que essa população ocupa áreas de maior valor imobiliário. Para o emprego do método custo-benefício é necessário desenvolver, de modo associado, políticas integradas de subsídios e proteção à população que ocupa áreas de risco. A política de proteção da população toma por base a implantação de um sistema de alerta eficiente, que evite por completo a perda de vidas, removendo a população dessas áreas no caso de cheias; a política de subsídios visa indenizar a população afetada no caso de cheias, ou seja, a criação de um fundo capaz de repor as perdas ocasionadas pelas inundações.

A maioria das cidades do SIEMEC constitui pequenos municípios, e a maior parte da população atingida pelas cheias ocupa regiões em que o valor imobiliário é baixo. Os estudos econômicos mostrariam que os custos das obras para mitigação das cheias para esses municípios superariam os benefícios econômicos. No entanto, nas obras governamentais os aspectos sociais tem grande relevância, nestes casos a rentabilidade torna-se apenas um benefício, dentre outros importantes a serem obtidos com o investimento.

Adicionalmente, o emprego de uma metodologia puramente econômica, que não leva em consideração os fatores sociais, pode levar a uma insatisfação da população após a conclusão das obras, pois o risco associado à falha de uma determinada obra é muito alto, quando ela é dimensionada para Períodos de Retornos baixos, permanecendo na população a percepção de que o problema das cheias não foi resolvido.

Assim, e com base no que foi exposto, optou-se por dimensionar as obras do SIEMEC para o maior Período de Retorno indicado pelas diretrizes apresentadas, que é de 100 anos, visando a uma proteção segura das áreas urbanas.

No entanto, é necessário ponderar que, em algumas cidades, a utilização desse Período de Retorno poderá resultar em soluções de alto custo. Portanto, a análise do período de retorno a ser adotado para cada obra do SIEMEC parte do princípio de que o TR de 100 anos é o ideal, no entanto, consideram, em paralelo, questões como o porte da obra, o tipo da obra, o custo da obra e os impactos causados por ela. Essa metodologia é descrita no item subsequente.

3.2.2 Metodologia Adotada para Seleção do Período de Retorno

Assim como para a análise das alternativas, também foi utilizada uma análise multicritério para definição do melhor Período de Retorno.

Os critérios analisados foram iguais para todas as obras; entretanto, os indicadores foram diferenciados pelo tipo da obra: primeiramente, foram analisadas as barragens do Subsistema 1, devido aos seus reflexos no dimensionamento das canalizações integrantes do Subsistema 2; posteriormente, foram analisadas as obras do Subsistema 2.

Os critérios e indicadores adotados são descritos nos itens subsequentes.

3.2.2.1 Critérios e Indicadores Adotados para Avaliação das Obras de Barramento – Subsistema 1

Tal como definido para a análise de alternativas, foram estabelecidos critérios para avaliação das obras de barramento, cuja representação é feita por meio de indicadores.

Critério objetivo: atendimento ao objetivo principal para o qual a obra está sendo projetada, definido como o controle de inundações de uma dada área, para o período de retorno ideal, 100 anos.

O indicador estabelecido é o próprio Período (ou Tempo) de Retorno:

- ✓ *Tempo de Retorno (I_t):* é o tempo de retorno desejável para a obra definida, avaliado conforme a seguir:

$$TR_{projeto} \geq TR_{100} \quad I_t = 1$$

$$TR_{projeto} < TR_{100} \quad I_t = \frac{TR_{projeto}}{TR_{100}}$$

- ✧ O valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1.

Critério econômico: representa a variável econômica e o esforço de investimentos por parte do poder público, bem como o porte da obra, sendo representado pelo seguinte indicador:

- ✓ *Relação entre os custos das obras (I_c):* é a relação entre o maior custo (C_{max}) de implantação das obras e o custo da obra para o período de retorno (C_{TR}) selecionado:

$$I_c = \frac{C_{max} - C_{TR}}{C_{max}}$$

- ✧ O valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1.

Critério impacto da obra: refere-se aos impactos sociais e ambientais das obras, representado pela área alagada pelos reservatórios:

- ✓ *Área alagada pelos reservatórios (I_a):* representa impactos de natureza ambiental *strictu sensu* e também social, bem como o porte da intervenção, visto que quanto mais alta for determinada barragem maior será a área por ela alagada:

$$I_a = \frac{A_{maxala} - A_{ala}}{A_{maxala}}$$

- ✧ Em que: a variável "A" é a área alagada, o índice "maxala" refere-se à máxima área alagada, e o índice "ala" refere-se às áreas alagada pelas obras do respectivo período de retorno. O valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1.

Os pesos atribuídos aos três critérios adotados foram considerados iguais pela equipe multidisciplinar envolvida no projeto, dada a relevância equivalente de cada um deles para a seleção do Período de Retorno; o resultado final foi composto pela média dos valores de todos os indicadores, sendo selecionado para o dimensionamento das barragens o TR de maior valor.

3.2.2.2 Critérios e Indicadores Adotados para Avaliação das Obras de Canalização – Subistema 2

Para avaliação das obras de canalização foram adotados os mesmos critérios definidos para as obras de barramento, porém, representados pelos seguintes indicadores:

Critério objetivo - representado pelo seguinte indicador:

- ✓ *Capacidade do Canal (I_q)*: é a relação entre a capacidade máxima do canal projetado (Q_{max}) e a vazão para TR de 100 anos (Q_{100}).

$$Q_{max} \geq Q_{100} \quad I_q = 1$$
$$Q_{max} < Q_{100} \quad I_q = \frac{Q_{max}}{Q_{100}}$$

- ✧ O valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1.

Critério econômico - representado pelos seguintes indicadores:

- ✓ *Relação entre os custos das obras (I_c)*: é a relação entre o maior custo total (C_{max}) de implantação das obras e o custo total da obra para o período de retorno (C_{TR}) selecionado.

$$I_c = \frac{C_{max} - C_{TR}}{C_{max}}$$

- ✧ O valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1.
- ✓ *Custo linear (I_l)*: é a relação entre o máximo custo linear de canalização das calhas fluviais propostas para todas as cidades (C_{lmax}) e o custo linear do canal analisado (C_l), sendo o custo linear definido como o custo de 1 metro de canal. Esse indicador tem o objetivo de equilibrar os investimentos nas diversas cidades do SIEMEC e é obtido pela expressão abaixo:

$$I_l = - \frac{C_l}{C_{max}}$$

- ✧ O valor desse indicador deverá ser sempre negativo, variando de 0 a -1.

Impacto das Obras - representado pelo seguinte indicador:

- ✓ *Porte do Canal (I_t)*: é a relação entre a largura do canal projetado l_p e a largura média do canal natural (l_n).

$$I_t = \frac{l_n}{l_p}$$

- ✧ O valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1.

Tal como feito para a análise das obras do Subistema 1, os pesos atribuídos aos três critérios adotados para avaliação das obras do Subistema 2 foram considerados iguais pela equipe multidisciplinar envolvida no projeto, dada a relevância equivalente de cada um deles para a seleção do Período de Retorno; o resultado final foi composto pela média dos valores de todos

os indicadores, sendo selecionado para o dimensionamento das canalizações o TR de maior valor.

3.3 ALTERNATIVAS AVALIADAS E ALTERNATIVA SELECIONADA

As alternativas de obras para os Subsistemas 1 e 2 do SIEMEC foram concebidas levando em consideração as obras propostas pelo presente estudo e as obras atualmente em fase de projeto básico e executivo na bacia, estas consideradas como obras existentes, resultando nos arranjos mostrados na Figura 3.2.

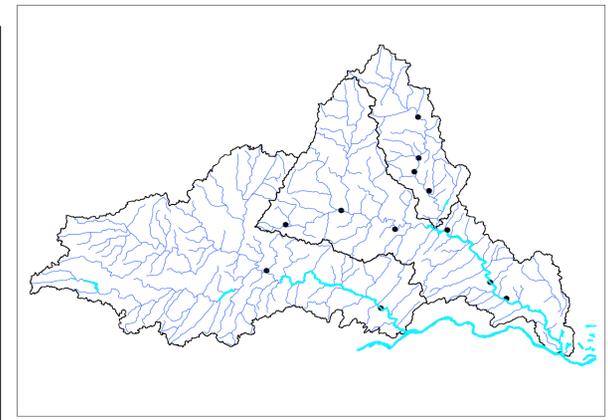
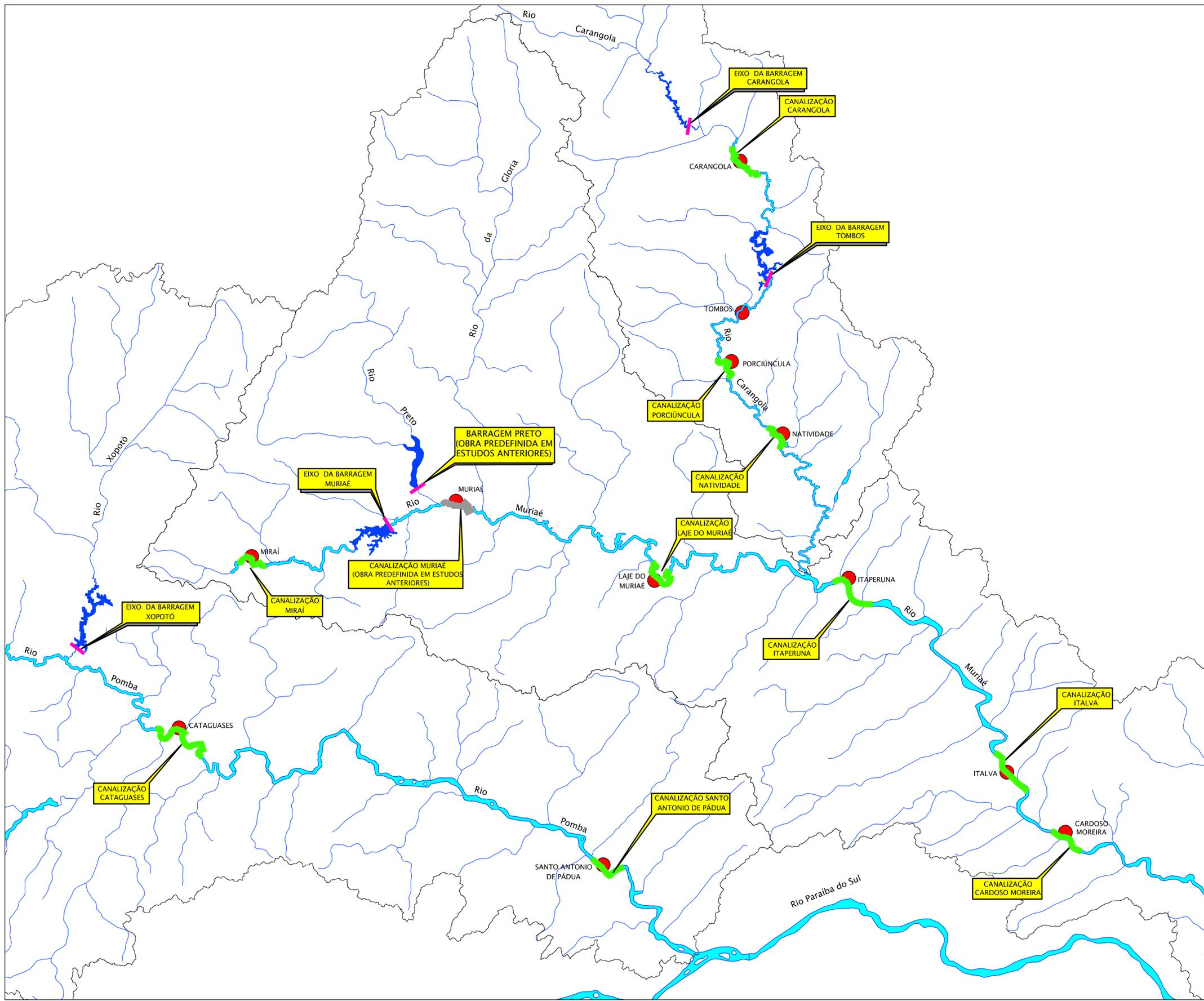
Da análise da Figura 3.2, observa-se que a variação possível entre as alternativas dá-se pela retirada ou acréscimo de uma obra de barramento, o que influencia diretamente na necessidade e no porte de uma canalização situada a jusante.

Sendo assim, foram concebidas oito alternativas, descritas no Quadro 3.2:

QUADRO 3.2 – RESUMO DAS ALTERNATIVAS ANALISADAS

Alternativa	TR	Descrição	Barragem			
			Barragem Xopotó	Barragem Muriaé	Barragem Carangola	Barragem Tombos
A1	25	Todas as Barragens	×	×	×	×
	50		×	×	×	×
	100		×	×	×	×
A2	25	Nenhuma Barragem	-	-	-	-
	50		-	-	-	-
	100		-	-	-	-
A3	25	Todas as Barragens, Exceto Tombos	×	×	×	-
	50		×	×	×	-
	100		×	×	×	-
A4	25	Todas as Barragens, Exceto Carangola	×	×	-	×
	50		×	×	-	×
	100		×	×	-	×
A5	25	Todas as Barragens, Exceto Muriaé	×	-	×	×
	50		×	-	×	×
	100		×	-	×	×
A6	25	Todas as Barragens, Exceto Tombos e Muriaé	×	-	×	-
	50		×	-	×	-
	100		×	-	×	-
A7	25	Todas as Barragens, Exceto Tombos e Carangola	×	×	-	-
	50		×	×	-	-
	100		×	×	-	-
A8	25	Todas as Barragens, Exceto Carangola e Muriaé	×	-	-	×
	50		×	-	-	×
	100		×	-	-	×

Elaboração ENGECORPS, 2012



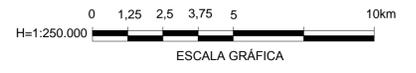
PLANTA CHAVE

LEGENDA

- - SEDE URBANA
- - CANALIZAÇÃO À CONSTRUIR
- - CANALIZAÇÃO CONSTRUÍDA
- - EIXO DA BARRAGEM

REFERÊNCIA

- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-25, R33.



PLANTA
ESCALA 1:250.000

Nº	TIPO	DESCRIÇÃO	REVISÕES	EMITENTE	VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO	OBJETO

TIPO DE EMISSÃO	RUBRICA	DATA
(A) PRELIMINAR		
(B) PARA APROVAÇÃO		
(C) PARA CONHECIMENTO		
(D) PARA COTAÇÃO		
(E) PARA CONSTRUÇÃO		
(F) CONFORME COMPRADO		
(G) CONFORME CONSTRUÍDO		
(H) CANCELADO		
(I) DE TRABALHO		



PROJETO: F.L.T.S.
 VERIFICAÇÃO: A.M.P.A.
 APROVAÇÃO/RESP. TÉCNICO: M.O.G.
 N° ART: 92221220110918444

DATA: 12/12/2012
 CREA: 0605018477
 N° DES. PROJ: FIGURA 3.2

ANA Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos - SUM
 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR

FIGURA 3.2
 ALTERNATIVA CONCEBIDAS PARA OS
 SUBSISTEMAS 1 e 2 DO SIEMEC

N° DES. CLIENTE: FIGURA 3.2
 REV: 0
 ESCALA: INDICADAS

FOLHA
 01/01

COR	PEÇA	ESPESS
1	7	0,10
2	7	0,20
3	7	0,30
4	7	0,40
5	7	0,50
6	7	0,60
7	7	0,70
8	7	0,80
9	7	1,00

Para cada uma das oito alternativas concebidas, foram calculados e agregados os indicadores antes descritos, que representam os critérios adotados para avaliar a performance econômica, sociopolítica e ambiental das obras, resultando nos dados apresentados no Quadro 3.3.

Os indicadores foram divididos por Período de Retorno e plotados em um Gráfico de Pareto; os resultados obtidos estão ilustrados nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5, respectivamente, para os TRs de 25, 50 e 100 anos.

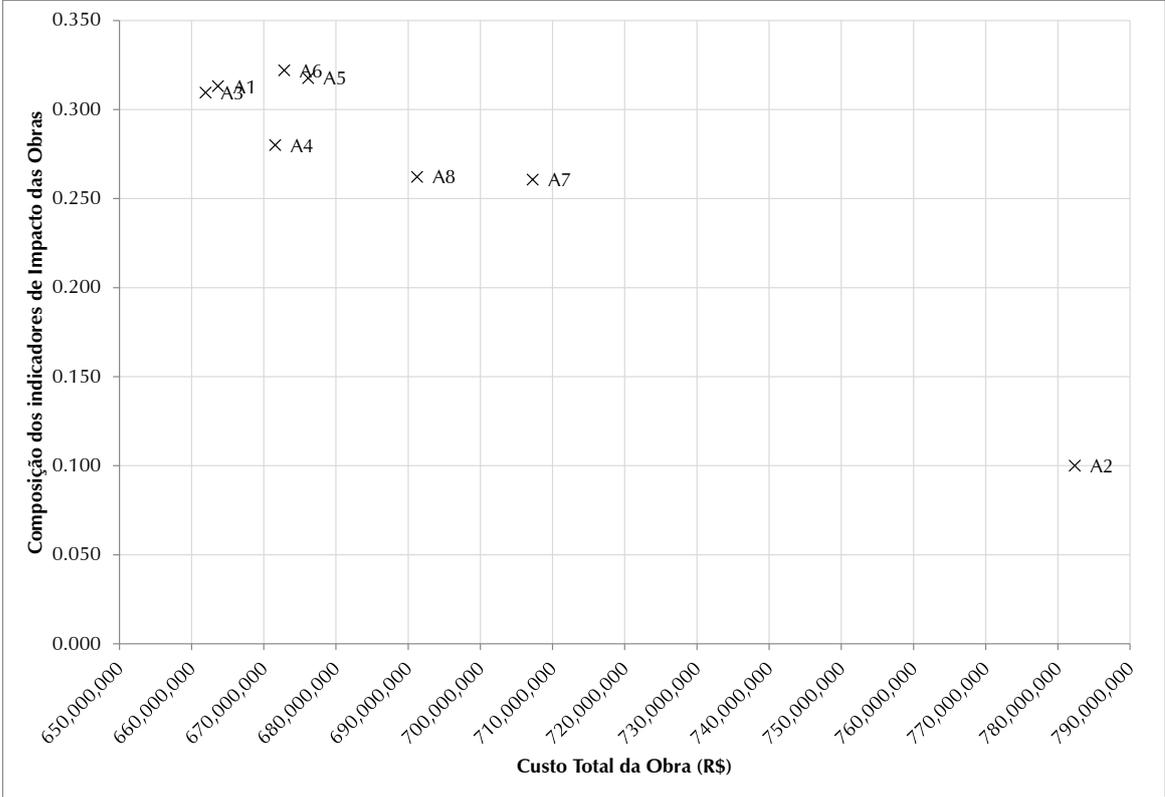


Figura 3.3 – Gráfico de Pareto para o Período de Retorno de 25 Anos

QUADRO 3.3 – INDICADORES OBTIDOS PARA ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

<i>Tempo de Retorno (anos)</i>	<i>Alternativa</i>	<i>Área para Desapropriação (m²)</i>	<i>Id</i>	<i>Área Alagada (m²)</i>	<i>Ia</i>	<i>Composição dos Indicadores de Impacto das Obras</i>	<i>Custo Total da Obra (R\$)</i>
25	A1	1.554.013	0,35	19.391.325	0,00	0,313	663.669.179
	A2	2.382.817	0,00	0	1,00	0,100	782.340.289
	A3	1.660.457	0,30	12.286.338	0,37	0,309	661.957.099
	A4	1.674.110	0,30	17.010.561	0,12	0,280	671.590.019
	A5	1.635.948	0,31	12.510.752	0,35	0,318	676.151.379
	A6	1.721.413	0,28	5.405.765	0,72	0,322	672.835.191
	A7	1.822.247	0,24	9.905.573	0,49	0,261	707.266.170
	A8	1.815.143	0,24	10.129.988	0,48	0,262	691.255.604
50	A1	2.062.801	0,34	19.918.385	0,00	0,302	771.309.894
	A2	3.105.223	0,00	0	1,00	0,100	919.776.514
	A3	2.134.769	0,31	12.813.398	0,36	0,317	768.284.337
	A4	2.251.794	0,27	17.536.177	0,12	0,259	789.111.286
	A5	2.161.476	0,30	13.037.812	0,35	0,308	790.081.517
	A6	2.253.908	0,27	5.932.825	0,70	0,317	790.021.013
	A7	2.383.788	0,23	10.431.190	0,48	0,257	828.352.292
	A8	2.382.589	0,23	10.655.604	0,47	0,256	813.555.721
100	A1	2.593.072	0,29	20.181.239	0,00	0,264	885.403.815
	A2	3.669.567	0,00	0	1,00	0,100	1.047.136.567
	A3	2.724.188	0,26	13.076.251	0,35	0,267	893.608.226
	A4	2.911.723	0,21	17.799.031	0,12	0,198	940.821.878
	A5	2.716.821	0,26	13.300.666	0,34	0,268	903.954.570
	A6	2.886.649	0,21	6.195.678	0,69	0,261	917.317.499
	A7	3.038.964	0,17	10.694.043	0,47	0,202	965.504.961
	A8	3.027.711	0,17	10.918.458	0,46	0,203	958.265.901

Id: Indicador da área para desapropriação necessária à construção dos canais

Ia: Indicador da área alagada pelos reservatórios

Elaboração ENGECORPS, 2012

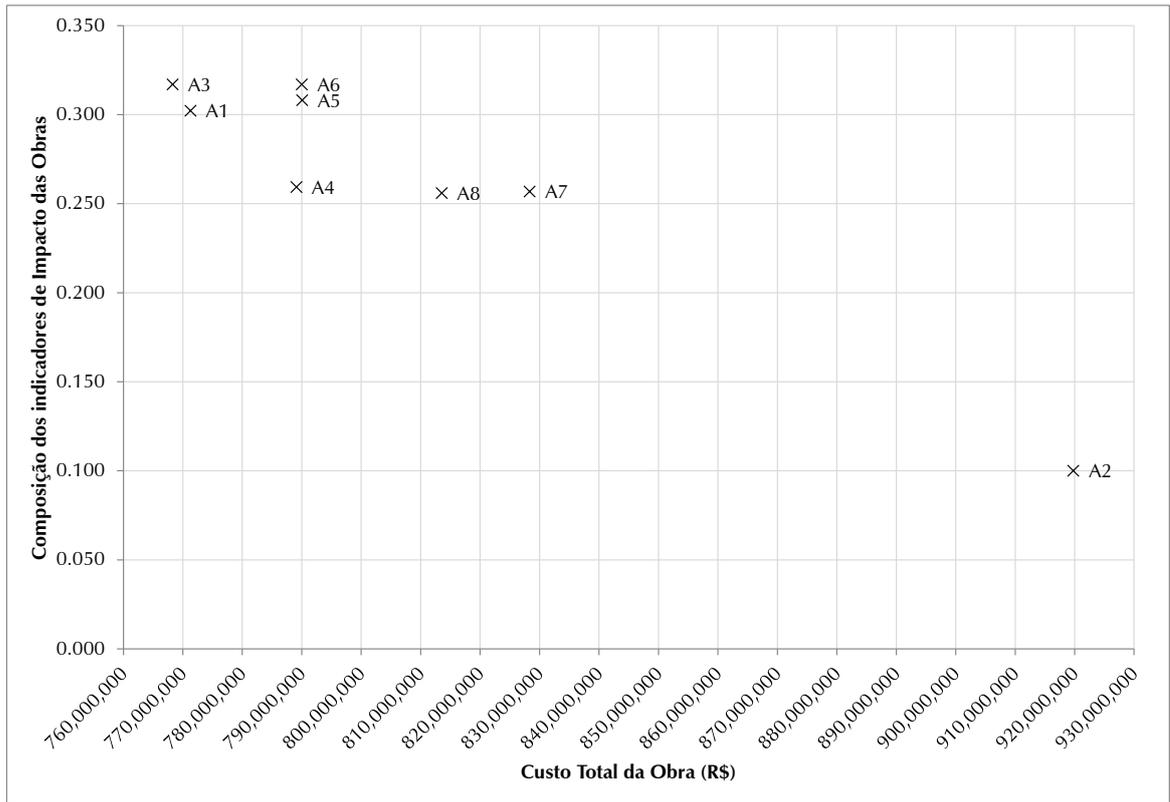


Figura 3.4 – Gráfico de Pareto para o Período de Retorno de 50 Anos

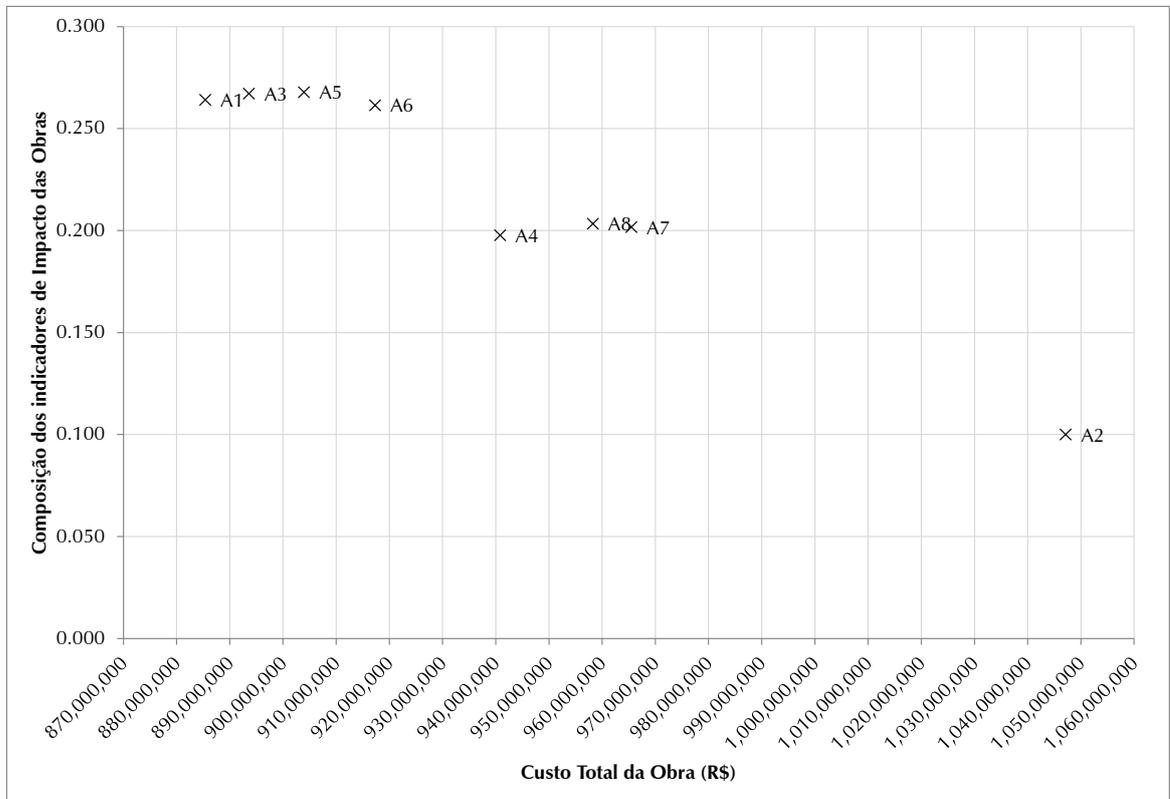


Figura 3.5 – Gráfico de Pareto para o Período de Retorno de 100 Anos

Verifica-se que a alternativa A2 foi a pior classificada em relação aos indicadores adotados para cotejo entre as possibilidades avaliadas. As alternativas A4, A8 e A7 resultaram num desempenho médio comparativamente às outras alternativas analisadas. As alternativas A1, A3, A5 e A6 apresentaram um desempenho próximo quanto ao impacto sociopolítico e ambiental das obras, no entanto, as alternativas A6 e A5 têm custo maior.

As alternativas A1 e A3 apresentaram performances muito próximas para os períodos de retorno de 25 e 50 anos, tanto com relação ao custo quanto aos impactos sociopolíticos e ambientais; já para o período de retorno de 100 anos, a Alternativa A1 tem custo menor e desempenho próximo ao da Alternativa 3.

Em face dos resultados obtidos, optou-se pela escolha da Alternativa 1, que se apresentou mais equilibrada diante dos critérios comparativos adotados. Tal alternativa é caracterizada pelo seguinte arranjo de obras:

- ✓ Barragens Carangola, Xopotó, Muriaé e Tombos;
- ✓ Construção de canais nos trechos dos rios que atravessam as cidades do SIEMEC.

Para essa alternativa, foi escolhido o Período de Retorno para dimensionamento de cada obra, obedecendo aos procedimentos antes descritos, resultando nos dados dos Quadros 3.4 e 3.5, onde os TRs escolhidos estão assinalados em cor azul.

QUADRO 3.4 – INDICADORES CALCULADOS PARA AS BARRAGENS CONSTITUINTES DA ALTERNATIVA 1 E PERÍODO DE RETORNO SELECIONADO – SUBSISTEMA 1

Período de Retorno (Anos)	(I_t)			(I_c)			(I_a)			Composição dos Indicadores		
	25	50	100	25	50	100	25	50	100	25	50	100
Carangola	0,25	0,50	-	0,10	0,00	-	0,00	0,00	-	0,12	0,17	-
Xopotó	0,25	0,50	1,00	0,33	0,15	0,00	0,21	0,07	0,00	0,26	0,24	0,33
Tombos	0,25	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,17	0,33
Muriaé	0,25	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,17	0,33

Elaboração ENGECORPS, 2012

QUADRO 3.5 – INDICADORES CALCULADOS PARA AS OBRAS DE CANALIZAÇÃO CONSTITUINTES DA ALTERNATIVA 1 E PERÍODO DE RETORNO SELECIONADO – SUBSISTEMA 2

Indicador	I_q			I_c			I_l			I_t			Composição dos Indicadores			
	25	50	100	25	50	100	25	50	100	25	50	100	25	50	100	
Cidade do SIEMEC	Carangola	0,68	0,68	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,28	1,00	1,00	0,63	0,67	0,67	0,34
	Tombos	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,26	0,30	0,34
	Porciúncula	0,69	0,82	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,28	-0,28	-0,28	0,64	0,64	0,64	0,28	0,30	0,34
	Natividade	0,71	0,84	1,00	0,21	0,09	0,00	-0,26	-0,30	-0,33	0,87	0,76	0,70	0,38	0,35	0,34
	Miraí	0,75	0,87	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,26	-0,26	-0,26	0,38	0,38	0,38	0,22	0,25	0,28
	Laje do Muriaé	0,67	0,77	1,00	0,27	0,21	0,00	-0,50	-0,55	-0,69	0,70	0,66	0,56	0,28	0,27	0,22
	Itaperuna	0,66	0,81	1,00	0,07	0,07	0,00	-0,35	-0,35	-0,38	1,00	1,00	0,95	0,35	0,38	0,39
	Italva	0,72	0,85	1,00	0,30	0,15	0,00	-0,36	-0,43	0,51	0,93	0,80	0,70	0,39	0,34	0,30
	Cardoso Moreira	0,70	0,87	1,00	0,32	0,13	0,00	-0,35	-0,44	-0,51	0,61	0,50	0,44	0,32	0,26	0,23
	Cataguases	0,78	0,89	1,00	0,27	0,12	0,00	-0,73	-0,88	-1,00	0,65	0,58	0,53	0,24	0,18	0,13
Santo Antônio de Pádua	0,77	0,89	1,00	0,29	0,13	0,00	-0,64	-0,78	-0,89	0,57	0,50	0,45	0,25	0,18	0,14	

Elaboração ENGECORPS, 2012

4. CONCEPÇÃO GERAL E FICHA TÉCNICA DO SIEMEC

A concepção geral do SIEMEC engloba a implantação de quatro barragens nas regiões de cabeceira das bacias dos rios Pomba e Muriaé (barragens de Carangola, Xopotó, Muriaé e Tombos), além de obras de canalização nas áreas urbanas beneficiadas pelo Sistema, contemplando, portanto, estruturas dos Subsistemas 1 e 2.

A alternativa 1 foi dimensionada para os Períodos de Retorno escolhidos, segundo critérios e resultados expostos no capítulo precedente.

A seguir, apresenta-se a Ficha Técnica das obras constituintes dos Subsistemas 1 e 2 do SIEMEC, por bacia hidrográfica.

4.1 BACIA DO RIO MURIAÉ

Na bacia do rio Murié, foram propostas as seguintes obras:

- ✓ Subsistema 1:
 - ✧ Implantação das barragens Carangola e Tombos, no rio Carangola, contribuinte da margem esquerda do rio Muriaé, e da barragem Muriaé, no rio de mesmo nome;
- ✓ Subsistema 2:
 - ✧ Canalizações dos trechos fluviais nas seguintes cidades localizadas na sub-bacia do rio Carangola: Carangola, Porciúncula e Natividade;
 - ✧ Canalizações dos trechos fluviais nas seguintes cidades localizadas na bacia do rio Muriaé: Miraí, Muriaé, Laje do Muriaé, Itaperuna, Italva e Cardoso Moreira.

Com relação à cidade de Muriaé, cabe salientar que já estão em fase de pré-implantação um projeto de canalização e um barramento no rio Preto, a montante da cidade, obras definidas pela prefeitura municipal; essas obras e seus benefícios foram devidamente considerados pelo presente estudo.

Para a cidade de Tombos, não foi prevista obra de canalização, visto que a calha do rio Carangola tem capacidade para escoar a cheia de projeto, considerando a implantação das barragens de Carangola e Tombos, a montante.

A seguir, apresentam-se as Fichas Técnicas das obras do SIEMEC propostas na bacia do rio Muriaé, acima referidas.

OBRAS DO SUBSISTEMA 1

QUADRO 4.1 – FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM DE CARANGOLA – RIO CARANGOLA

<i>Coordenadas do Eixo (UTM 23S)</i>				
X			Y	
801981			7709790	
<i>Reservatório</i>				
<i>Área Alagada no NA Máximo Maximorum (km²)</i>			<i>Volume no NA Máximo Maximorum (hm³)</i>	
2,38			26,6	
<i>Barragem</i>				
<i>Altura (m)</i>	<i>Cota da Crista (m)</i>	<i>Comprimento da Crista (m)</i>	<i>Maciço</i>	
28,0	633,0	200,10	Solo Compactado	
<i>Vertedouro Creager</i>				
<i>Cota da Crista (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Nível Máximo no Vertedouro (m)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Coefficiente de Descarga</i>
630,0	60	631,5	1,5	2,0
<i>Descarregador de Fundo</i>				
<i>Altura (m)</i>	<i>Largura (m)</i>		<i>Declividade m/m</i>	
4,0	4,0		0,0002	
<i>Bacia de Dissipação</i>				
<i>Comprimento (m)</i>			<i>Altura (m)</i>	
25			4,5	
<i>Tempos de Operação da Barragem</i>				
<i>Enchimento (h)</i>			<i>Esvaziamento (h)</i>	
42			93	

Elaboração ENGEORPS, 2012

QUADRO 4.2 – FICHA TÉCNICA DA BACIA DA BARRAGEM DE TOMBOS – RIO CARANGOLA

Coordenadas do Eixo (UTM 24S)				
X		Y		
188858		7689690		
Reservatório				
Área Alagada no NA Máximo Maximorum (km ²)			Volume no NA Máximo Maximorum (hm ³)	
7,10			21,03	
Barragem				
Altura (m)	Cota da Crista (m)	Comprimento da Crista (m)	Maciço	
18,5	320,	241	Solo Compactado	
Vertedouro Creager				
Cota da Crista (m)	Comprimento (m)	Nível Máximo no Vertedouro (m)	Altura (m)	Coefficiente de Descarga
317,0	60,0	318,8	1,8	2,0
Descarregador de Fundo				
Altura (m)	Largura (m)	Declividade m/m		
4,0	5,0	0,0002		
Bacia de Dissipação				
Comprimento (m)		Altura (m)		
25,0		4,0		
Tempo de Operação da Barragem				
Enchimento (h)		Esvaziamento (h)		
68		113		

Elaboração ENGECORPS, 2012

QUADRO 4.3 – FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM DE MURIAÉ – RIO MURIAÉ

Coordenadas do Eixo (UTM 23S)				
X		Y		
764879		7658680		
Reservatório				
Área Alagada no NA Máximo Maximorum (km ²)		Volume no NA Máximo Maximorum (hm ³)		
6,88		28,47		
Barragem				
<i>Altura (m)</i>	<i>Cota da Crista (m)</i>	<i>Comprimento da Crista (m)</i>	<i>Maciço</i>	
14	212	184	Solo Compactado	
Vertedouro Creager				
<i>Cota da Crista (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Nível Máximo no Vertedouro (m)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Coefficiente de Descarga</i>
210,0	50	211,0	1,0	2,0
Descarregador de Fundo				
<i>Altura (m)</i>	<i>Largura (m)</i>		<i>Declividade m/m</i>	
4,0	4,0		0,0002	
Bacia de Dissipação				
<i>Comprimento (m)</i>		<i>Altura (m)</i>		
25,0		4,5		
Tempos de Operação da Barragem				
Enchimento (h)		Esvaziamento (h)		
46		155		

Elaboração ENGEORPS, 2012

OBRAS DO SUBSISTEMA 2

QUADRO 4.4- FICHA TÉCNICA DAS OBRAS DO SUBSISTEMA 2 – BACIA DO RIO MURIAÉ

Cidade	Canalização									
	Trecho	Profundidade Média (m)	Base Menor (m)	Base maior (m)	Seção do Canal	Taludes	Comprimento (m)	Vazão (m ³ /s)	TR (anos)	Revestimento
Carangola	1	6	16	40	Trapezoidal	1V:2H	700	227.1	50	Gabião
	2	7	16	44			3620	227.1		Gabião
	3	7	20	48			99	227.1		Gabião
	4	7	20	48			98	227.1		Concreto
	5	7	20	48			395	227.1		Gabião
Porciúncula	1	8	16	48			1.634	309	100	Gabião
	2	10	28	68			965	309		Natural
Natividade	1	5	30	50			1.325	374	25	Concreto
	2	5	30	50			4.937	374		Gabião
Mirai	1	6	12	36			815	185	100	Gabião
	2	6	12	36			311	185		Gabião
	3	5	25	45			1.387	185		Gabião
	4	5	25	45			365	185		Gabião
Laje do Muriaé	1	8,5	40	74			2.467	651	25	Gabião
	2	8,5	40	74			787	651		Natural
Itaperuna	1	7	100	128			445	1.352	100	Gabião
	2	7	92	120			758	1.352		Gabião
	3	9	54	90			598	1.352		Gabião
	4	6	94	118			347	1.352		Gabião
Italva*	1	14	90	146			1.300	1.503	25	Gabião
Cardoso Moreira*	1**	14	90	146	1915	1.587	25	Gabião		

* trecho entre Italva e Cardoso Moreira (L=13.526m)

**trecho readequação da calha, a jusante da cidade (L=16.397m)

Elaboração ENGECORPS, 2012

4.2 BACIA DO RIO POMBA

Na bacia do rio Pomba, foram propostas as seguintes obras:

✓ Subsistema 1:

- ✧ Implantação da barragem de Xopotó, no rio de mesmo nome, afluente da margem esquerda do rio Pomba;

✓ Subsistema 2:

- ✧ Canalizações dos trechos fluviais nas cidades de Santo Antônio de Pádua e Cataguases.

A seguir, apresentam-se as Fichas Técnicas das obras do SIEMEC propostas na bacia do rio Pomba, acima referidas.

OBRA DO SUBSISTEMA 1

QUADRO 4.5 – FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM DE XOPOTÓ – RIO XOPOTÓ

<i>Coordenadas do Eixo (UTM 23S)</i>				
X		Y		
725786		7643350		
<i>Reservatório</i>				
<i>Área Alagada no NA Máximo Maximorum (km²)</i>			<i>Volume no NA Máximo Maximorum (hm³)</i>	
3,92			61,4	
<i>Barragem</i>				
<i>Altura (m)</i>	<i>Cota da Crista (m)</i>	<i>Comprimento da Crista (m)</i>	<i>Maciço</i>	
39,0	264,0	261	CCR	
<i>Vertedouro Creager</i>				
<i>Cota da Crista (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Nível Máximo no Vertedouro (m)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Coefficiente de Descarga</i>
260,0	50,0	262,1	2,1	2,0
<i> Descarregador de Fundo</i>				
<i>Altura (m)</i>	<i>Largura (m)</i>		<i>Declividade m/m</i>	
4,0	5,0		0,0002	
<i>Bacia de Dissipação</i>				
<i>Comprimento (m)</i>			<i>Altura (m)</i>	
50,0			8,5	
<i>Tempos de Operação da Barragem</i>				
<i>Enchimento (h)</i>			<i>Esvaziamento (h)</i>	
78			198	

Elaboração ENGEORPS, 2012

OBRAS DO SUBSISTEMA 2

QUADRO 4.6– FICHA TÉCNICA DAS OBRAS DO SUBSISTEMA 2 – BACIA DO RIO POMBA

Cidade	Canalização									
	Trecho	Profundidade Média (m)	Base Menor (m)	Base maior (m)	Seção do Canal	Taludes	Comprimento (m)	Vazão (m ³ /s)	TR (anos)	Revestimento
Cataguases	1	15	60	120	Trapezoidal	1V:2H	1.080	1.482	25	Gabião
	2	14	138	194			3.635	1.482		Natural
	3	14	142	198			4.465	1.482		Natural
Santo Antônio de Pádua	1	10	106	146			1.077	1.975	25	Gabião
	2	8	126	158			366	1.975		Gabião
	3	8,7	141	176			4.720	1.975		Gabião

Elaboração ENGECORPS, 2012

5. ARRANJO GERAL DAS INTERVENÇÕES DE NÍVEL 1 DO SUBSISTEMA 1

Conforme definições do item 6.39 do Termo de Referência, o Subsistema 1 prevê a concepção de obras em dois diferentes níveis de aprofundamento: “Nível 1: interessando os dois locais identificados como mais atraentes e submetidos à segunda etapa de levantamentos de campo, integrante da atividade 312; Nível 2: cobrindo os demais locais pré-selecionados.”

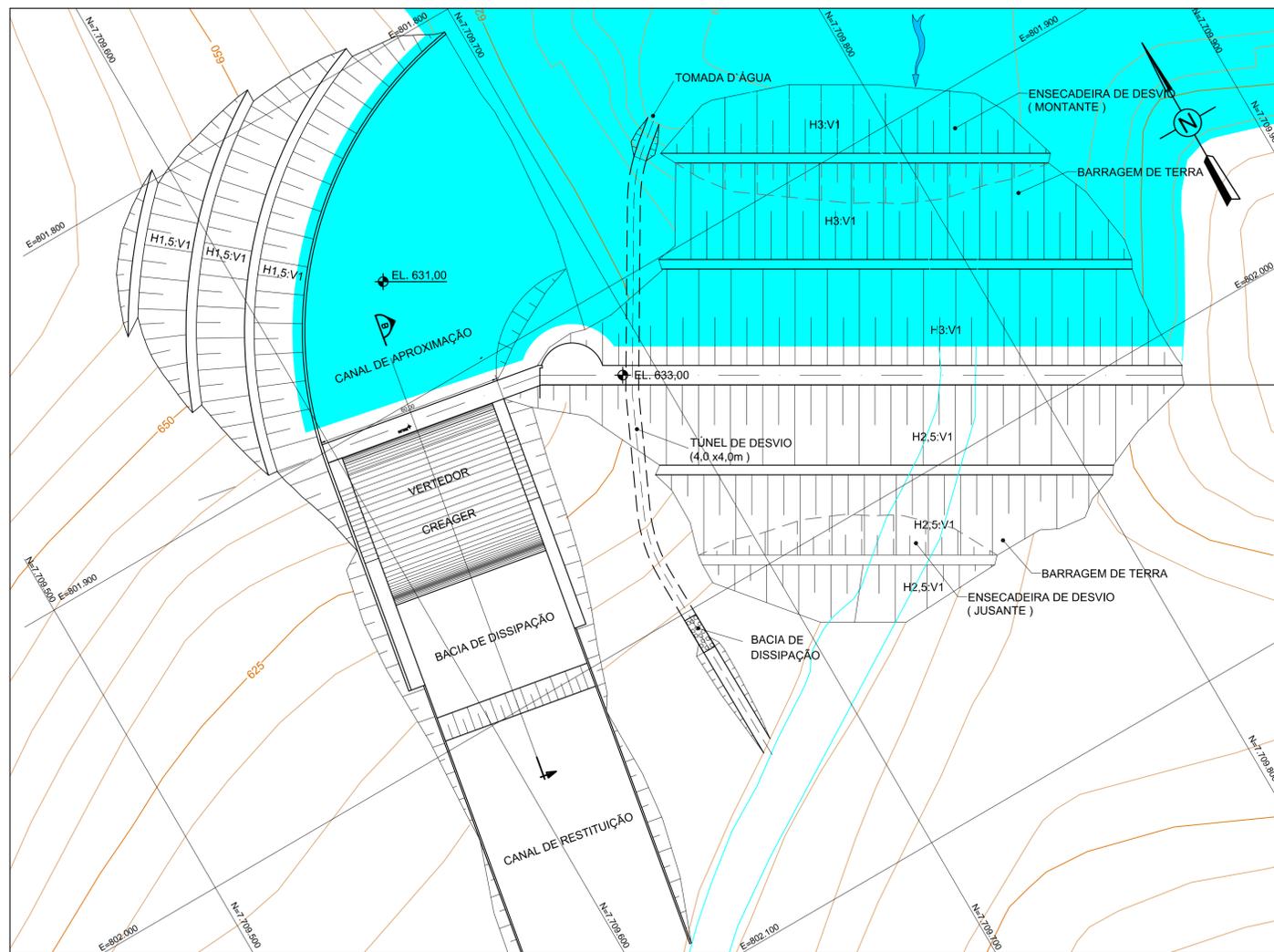
A Alternativa 1, selecionada de acordo com o que foi exposto no Capítulo 3, é constituída de quatro obras de barramento, sendo as barragens Carangola e Xopotó as estruturas correspondentes ao Nível 1.

Nas páginas seguintes, apresentam-se os desenhos de arranjo geral das duas barragens Nível 1 do Subsistema 1 – Carangola e Xopotó, descritas resumidamente abaixo:

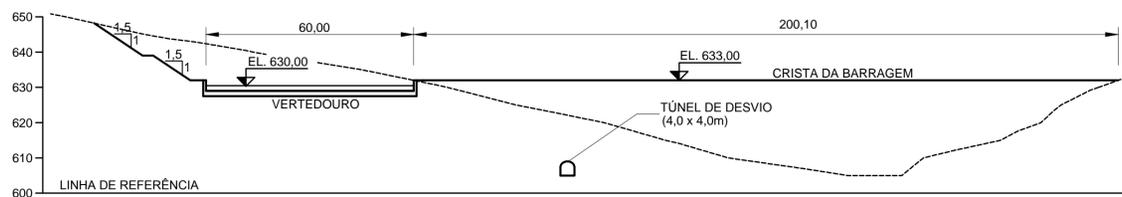
A barragem de Carangola situa-se no rio Carangola, a 15 km a montante da cidade de Carangola. Apesar de existir uma pedreira muito próxima da barragem, optou-se por um maciço em solo compactado, tendo em vista os resultados das sondagens geofísicas realizadas, que acusaram o topo rochoso localizado a cerca de 20 m de profundidade. A barragem tem altura de 28 metros e volume no NA Máximo Maximorum de 26,6 hm³. Foi previsto vertedouro de soleira livre em perfil Creager, permitindo escoar as vazões oriundas de cheias com TRs de 1.000 e 10.000 anos; o comprimento total do vertedouro é de 60 m, com uma carga hidráulica máxima de 1,50 m. O esvaziamento do reservatório, bem como o controle da vazão de cheia será realizado por um dispositivo de fundo com dimensões de 4,0 m de altura por 4,0 m de largura. A bacia de dissipação tem comprimento de 25 m e altura de 4,5 m.

A barragem de Xopotó localiza-se no rio Xopotó, a cerca de 30 km a montante da cidade de Cataguases, em local onde o vale é encaixado. Optou-se por um maciço de CCR, que facilita a implantação da barragem no eixo proposto; ademais, as inspeções de campo realizadas pela equipe de Geologia da ENGEORPS indicaram a existência de pedreiras nas proximidades desse eixo, distantes cerca de 20 km. A barragem tem altura de 39 metros e volume no NA Máximo Maximorum de 61,4 hm³. Foi previsto vertedouro de soleira livre em perfil Creager, permitindo escoar as vazões oriundas de cheias com TRs de 1.000 e 10.000 anos, com comprimento de 50 metros. O esvaziamento do reservatório, bem como o controle da vazão de cheia será realizado por um dispositivo de fundo com dimensões de 4,0 m de altura por 5,0 m de largura. A bacia de dissipação tem comprimento de 50 m e altura de 8,5 m.

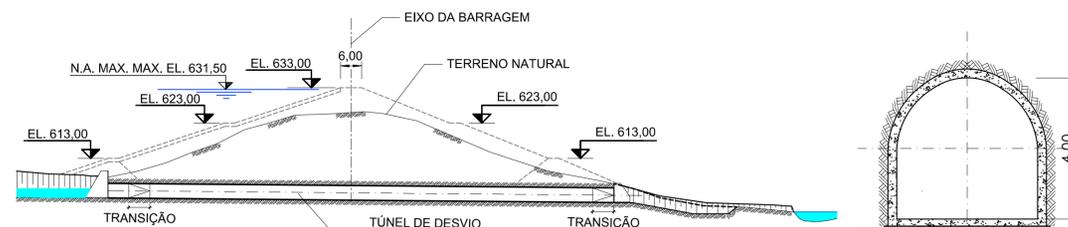
Os descarregadores de fundo foram dimensionados para TR de 100 anos, sem a necessidade de operações de fechamento e abertura, permitindo que o reservatório se mantenha vazio nos períodos em que não ocorrem precipitações extremas.



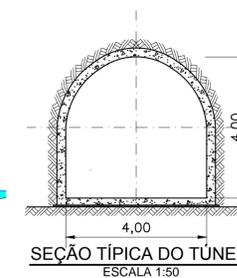
PLANTA
ESCALA 1:1000



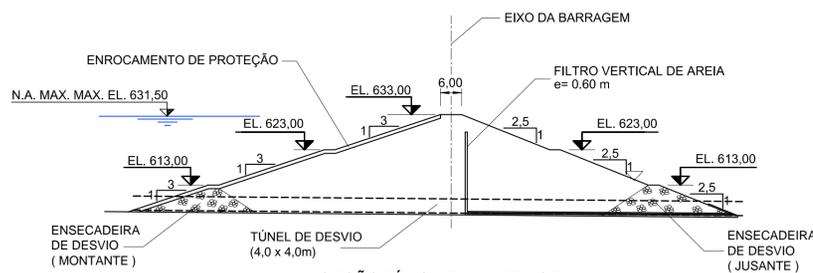
PERFIL LONGITUDINAL PELO EIXO DA BARRAGEM
ESCALA 1:1.000



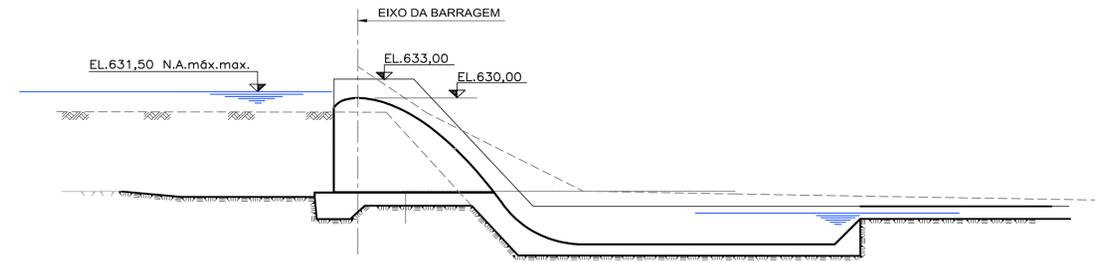
CORTE TÍPICO DO TÚNEL
ESCALA 1:1.000



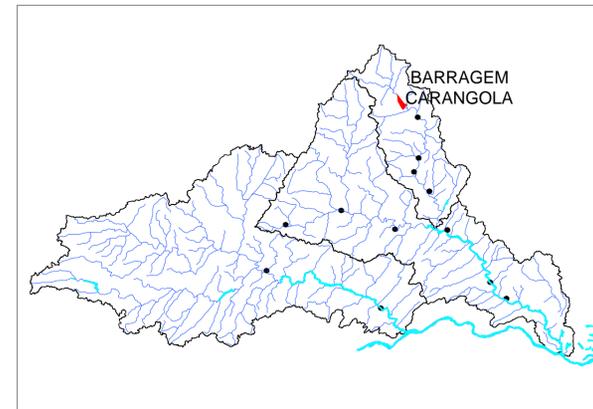
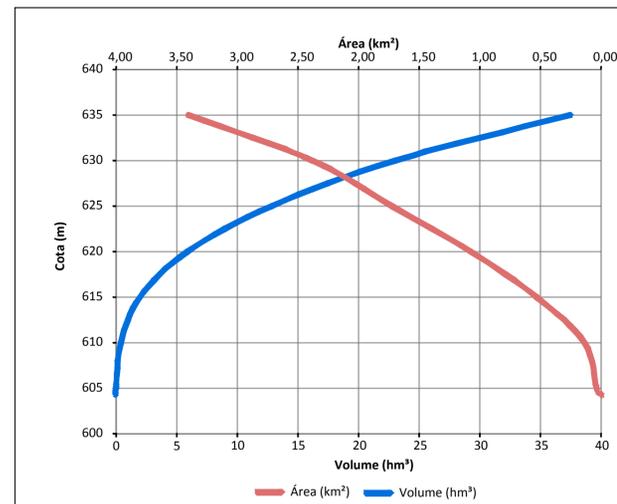
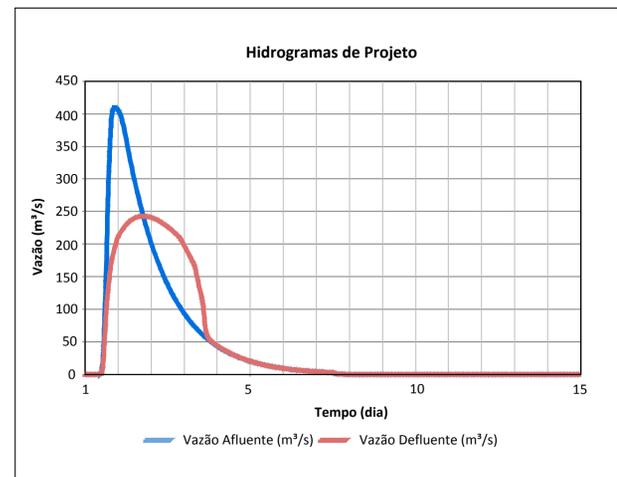
SEÇÃO TÍPICA DO TÚNEL
ESCALA 1:50



SEÇÃO TÍPICA DA BARRAGEM
ESCALA 1:1.000



VERTEDOR TÍPICO
ESCALA 1:500



PLANTA CHAVE

NOTAS

- 1 - ELEVAÇÕES E DIMENSÕES EM METRO.
- 2 - O TOPO ROCHOSO DA REGIÃO ESTÁ A 20,00 METROS ABAIXO DA LINHA DO TERRENO NATURAL, CONFORME INFORMAÇÕES DE SONDAGENS ELÉTRICA VERTICAL.
- 3 - O VERTEDOR FOI DIMENSIONADO PARA UMA TORMENTA COM TR 1000 ANOS E DURAÇÃO 24 HORAS, 10.000 ANOS E DURAÇÃO 24 HORAS.
- 4 - O ORIFÍCIO DE CONTROLE FOI DIMENSIONADO PARA UMA TORMENTA DE TR 100 ANOS COM DURAÇÃO 24 HORAS.
- 5 - CURVA COTA x ÁREA VOLUME FOI OBTIDO ATRAVÉS DE RESTITUIÇÃO AEROFOTOGAMÉTRICA 1:10.000 ELABORADO PELA GEOMENSURA.

REFERÊNCIA

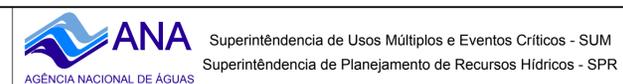
- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-026, R34.
- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-023,RSC - C01.
- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-024,RSC - SE01.

Nº	TIPO	DISCRIÇÃO	EMITENTE	VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO	OBJETO
1	B	EMISSÃO INICIAL	12 / 12 / 12	12 / 12 / 12	13 / 12 / 12	
REVISÕES						

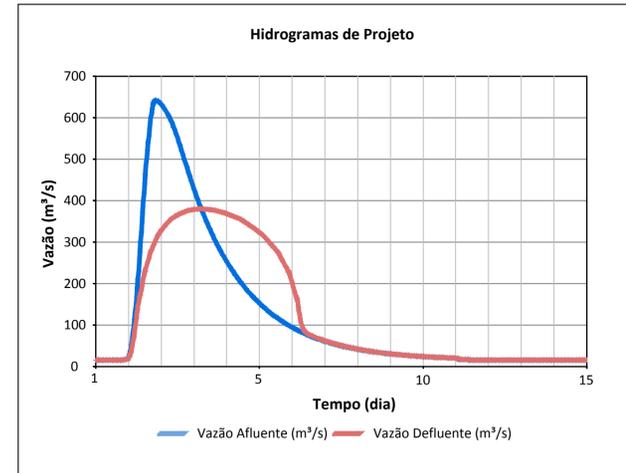
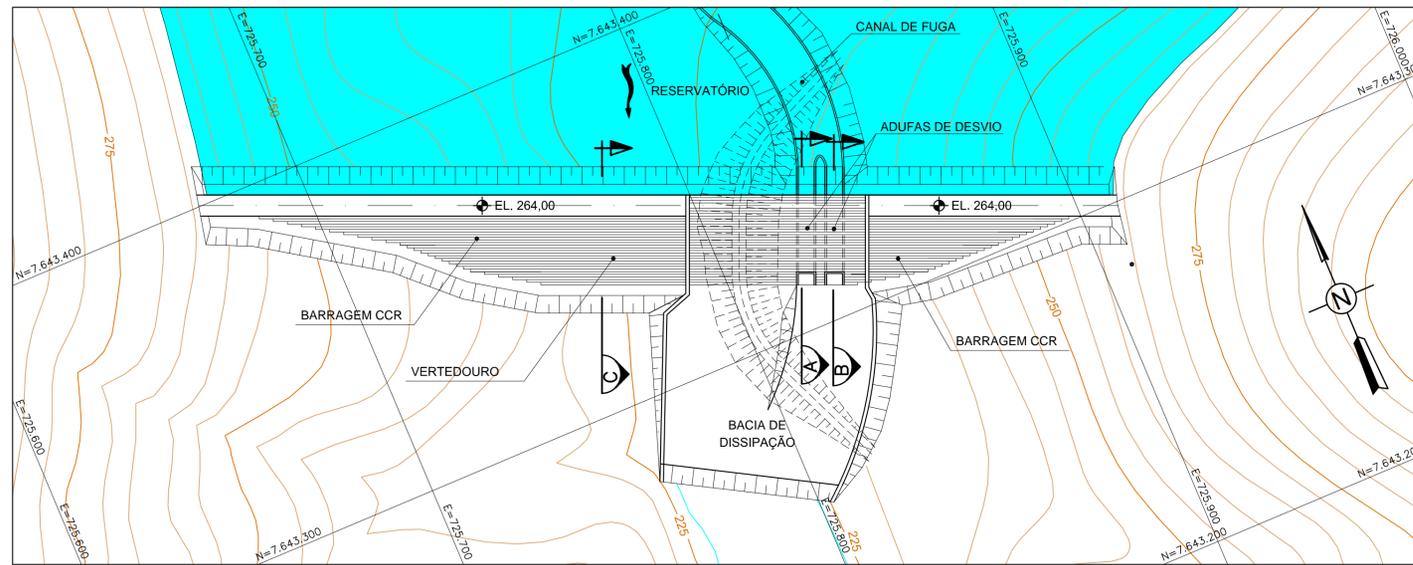
TIPO DE EMISSÃO	RUBRICA	DATA
(A) PRELIMINAR		
(B) PARA APROVAÇÃO		
(C) PARA CONHECIMENTO		
(D) PARA COTAÇÃO		
(E) PARA CONSTRUÇÃO		
(F) CONFORME COMPRADO		
(G) CONFORME CONSTRUÍDO		
(H) CANCELADO		
(I) DE TRABALHO		



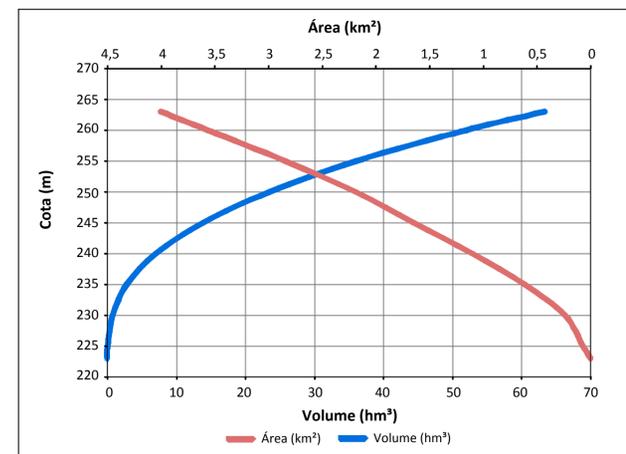
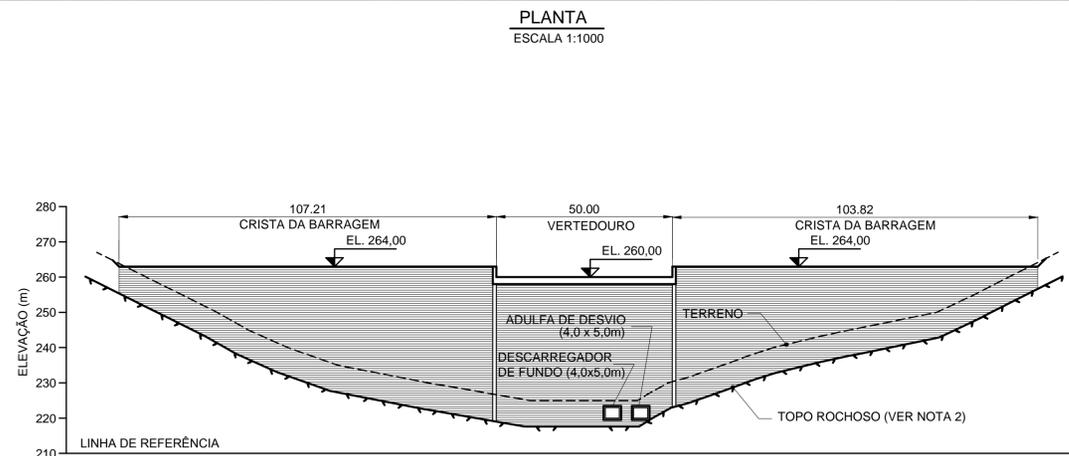
PROJETO: F.L.T.S. / F.G.
 VERIFICAÇÃO: A.M.P.A. DATA: 12/12/2012
 APROVAÇÃO/RESP. TÉCNICO: M.O.G. CREA: 0605018477
 N° ART: 9221220110918444 N° DES. PROJ.: 1069-ANA-01-GL-A1-0001-R0



Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos - SUM
 Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR
 CONCEPÇÃO DE ENGENHARIA DA BARRAGEM DE CARANGOLA
 N° DES. CLIENTE: 1069-ANA-01-GL-A1-0001-R0 REV 0 ESCALA: INDICADA
 FOLHA 01/01



PLANTA CHAVE

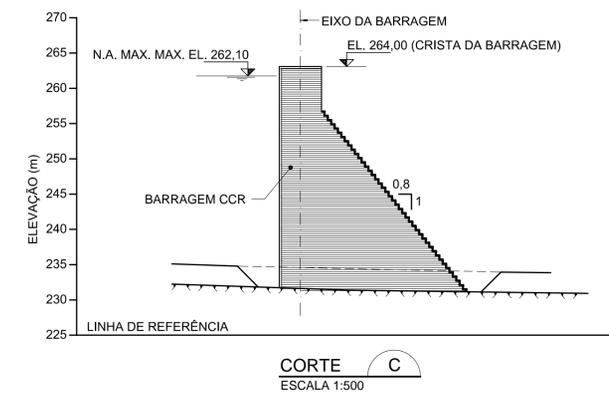
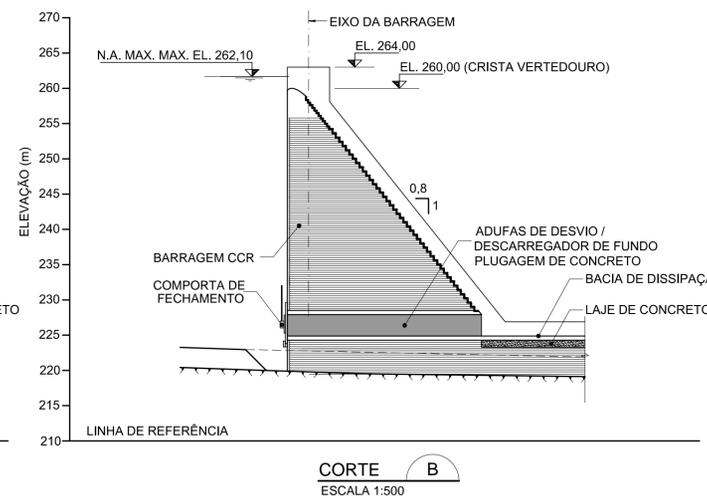
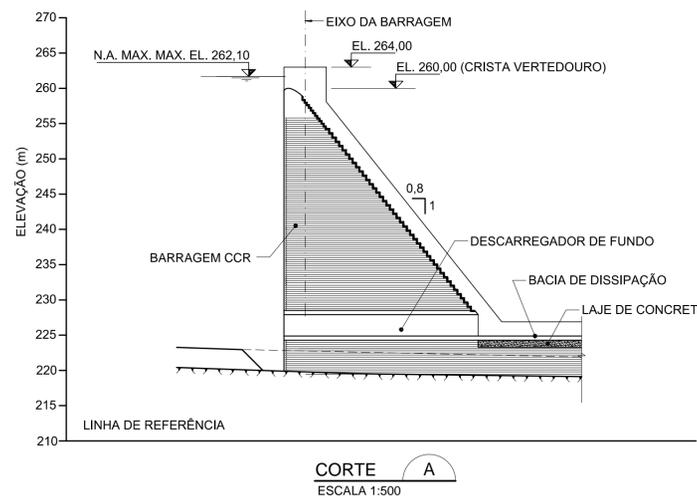


NOTAS

- ELEVAÇÕES E DIMENSÕES EM METRO.
- O TOPO ROCHOSO DA REGIÃO ESTÁ ENTRE 8,00 A 10,00 METROS ABAIXO DA LINHA DO TERRENO NATURAL, CONFORME INFORMAÇÕES DE SONDAGENS ELÉTRICA VERTICAL.
- O VERTEDOR FOI DIMENSIONADO PARA UMA TORMENTA COM TR 1000 ANOS E DURAÇÃO 48 HORAS, SENDO VERIFICADO PARA UMA TORMENTA DE 10.000 ANOS E DURAÇÃO 48 HORAS.
- O ORIFÍCIO DE CONTROLE FOI DIMENSIONADO PARA UMA TORMENTA DE TR 100 ANOS COM DURAÇÃO 48 HORAS.
- CURVA COTA x ÁREA x VOLUME FOI OBTIDO ATRAVÉS DE RESTITUIÇÃO AEROFOTOGAMÉTRICA 1:10.000 ELABORADO PELA GEOMENSURA ANO 2012.

REFERÊNCIA

- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-026, R34.
- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-023,RSC - C01.
- RELATÓRIO 1069-ANA-RPS-RT-024,RSC - SE01.



COMPR.	PENAS
1	0,10
2	0,20
3	0,30
4	0,40
5	0,50
6	0,60
7	0,70
8	0,80
9	1,00

					TIPO DE EMISSÃO	RUBRICA	DATA
-					(A) PRELIMINAR		
-					(B) PARA APROVAÇÃO		
-					(C) PARA CONHECIMENTO		
-					(D) PARA COTAÇÃO		
-					(E) PARA CONSTRUÇÃO		
-					(F) CONFORME COMPRADO		
-					(G) CONFORME CONSTRUÍDO		
-					(H) CANCELADO		
-					(I) DE TRABALHO		

Nº	TIPO	DESCRIÇÃO	EMITENTE	VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO	OBJETO
1	B	EMISSÃO INICIAL	12 / 12 /12	12 / 12 /12	13 / 12 /12	

ENGECORPS

PROJETO: F.L.T.S. / F.G.	DATA: 05/11/2012
VERIFICAÇÃO: A.M.P.A.	CREA: 0605018477
APROVAÇÃO/RESP. TÉCNICO: M.O.G.	Nº DES. PROJ.: 1069-ANA-03-GL-A1-0001-R0
Nº ART: 9221220110918444	

ANA Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos - SUM
Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

CONCEPÇÃO DE ENGENHARIA DA BARRAGEM DE XOPOTÓ		FOLHA
		01/01

Nº DES CLIENTE: 1069-ANA-03-GL-A1-0001-R0 REV 0 ESCALA: INDICADA

6. RESULTADOS DOS ESTUDOS DE DESEMPENHO DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS

O desempenho das intervenções propostas foi avaliado mediante simulações hidrológico-hidráulicas das obras propostas para os Subsistemas 1 e 2, com o objetivo de demonstrar a proteção obtida para cada cidade considerando o TR adotado, bem como as vazões que não são controladas, para TRs maiores.

O Quadro 6.1 apresenta as vazões naturais afluentes a cada uma das cidades do SIEMEC e a mitigação obtida com a implantação das obras propostas.

QUADRO 6.1 – MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DAS CHEIAS OBTIDA COM A IMPLANTAÇÃO DAS OBRAS PROPOSTAS PARA OS SUBSISTEMAS 1 E 2 DO SIEMEC

<i>Cidade</i>	<i>TR de Projeto (Anos)</i>	<i>Vazão de Cheia para o TR de Projeto (m³/s)</i>	<i>Vazão Amortecida (m³/s)</i>	<i>Abatimento das Cheias Resultante (%)</i>	<i>Vazão Escoada pelo Canal Projetado ou Canal Natural (m³/s)</i>
Carangola	50	355	227	36,1	227
Tombos	100	459	255	44,4	255*
Porciúncula	100	548	309	43,6	309
Natividade	25	552	374	32,2	374
Miraí	100	185	185	0**	185
Laje do Muriaé	25	801	651	18,7	651
Itaperuna	100	1.971	1.541	21,8	1.541
Italva	25	1.808	1.503	16,9	1.503
Cardoso Moreira	25	1.904	1.587	16,6	1.587
Cataguases	25	1.584	1.482	6,4	1.482
Santo Antônio de Pádua	25	2.101	1.975	6,0	1.975

*Canal natural

**Não está previsto barramento a montante da cidade
Elaboração ENGECORPS, 2012

O Quadro 6.2 apresenta, para cada cidade do SIEMEC, as vazões de dimensionamento dos canais propostos, as vazões de cheia resultantes para cada TR, considerando a inserção das quatro barragens previstas para o Subsistema 1, além da barragem do rio Preto, prevista pela Prefeitura Municipal de Muriaé, e as vazões não controladas pelo sistema de obras proposto, para os mesmos Períodos de Retorno.

QUADRO 6.2 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DAS OBRAS DO SUBSISTEMA 2

Cidades	Vazão de dimensionamento do canal (m³/s)	Vazão TR 25 (m³/s)	Vazão TR 50 (m³/s)	Vazão TR 100 (m³/s)	Vazões não controladas TR 100 anos (m³/s)	Vazões não controladas TR 50 anos (m³/s)
Carangola	227	212	227	243	16	-
Tombos	255	239	247	255	-	-
Porciúncula	309	275	295	309	-	-
Natividade	374	374	404	432	58	30
Mirafá	185	138	162	185	-	-
Laje do Muriaé	651	651	776	895	244	125
Itaperuna	1.541	1.201	1.372	1.541	-	-
Italva	1.503	1.503	1.717	1.934	431	214
Cardoso Moreira	1.587	1.587	1.819	2.055	468	232
Cataguases	1.482	1.482	1.689	1.897	415	207
Santo Antônio de Pádua	1.975	1.975	2.257	2.539	564	282

Elaboração ENGEORPS, 2012

A título de conclusões e recomendações, podem ser feitas as considerações abaixo, para cada cidade beneficiada pelo SIEMEC:

Bacia do Rio Muriaé – Sub-Bacia do Rio Carangola:

✓ Cidades de Carangola e Tombos

As barragens de Carangola e Tombos, propostas para a mitigação das cheias das cidades de Carangola e Tombos constituem uma boa alternativa para amenizar picos de cheias, gerando proteção para períodos de retorno de 50 anos e 100 anos, para os municípios de Carangola e Tombos, respectivamente, havendo a necessidade de execução de obras complementares nos trechos fluviais que atravessam as áreas urbanas do município de Carangola, devido à forte urbanização presente ao longo das margens do rio. O amortecimento das vazões provocado pelas barragens previstas é de 36,1% e 44,4%, nas cidades de Carangola e Tombos, respectivamente. Além disso, as barragens estão previstas na cabeceira do rio Carangola, proporcionando benefícios às cidades do SIEMEC localizadas a jusante. Na cidade de Tombos não foi necessária a implantação de obras de canalização, pelo fato dos reservatórios de Carangola e Tombos amortecerem as vazões afluentes em nível suficiente para a passagem da cheia no trecho fluvial natural.

✓ Cidades de Porciúncula e Natividade

As obras dos Subsistemas 1 e 2, visando à mitigação das cheias nas cidades de Porciúncula e Natividade constituem alternativas que representam as melhores soluções para esses municípios, visto que obras do Subsistema 3 seriam de grande porte e altos custos.

Bacia do Rio Muriaé:

✓ Cidades de Mirai e Laje do Muriaé

De acordo com as análises realizadas, a obra de canalização proposta na cidade de Mirai, que resulta numa proteção da área urbana para TR de 100 anos é a alternativa mais adequada. Como essa cidade se encontra nas proximidades das nascentes do rio Muriaé, a implantação de uma obra do Subsistema 1 não beneficiaria as demais cidades do SIEMEC; além disso, o relevo no entorno da cidade é montanhoso, dificultando a inserção de obras do Subsistema 3.

Quanto à cidade de Laje do Muriaé, as obras de canalização propostas mostraram ótimo resultado, oferecendo proteção da área urbana para TR de 25 anos. No entanto, a conformação do curso do rio Muriaé nas proximidades da cidade possibilita o estudo de obras do Subsistema 3, a exemplo do que vem sendo cogitado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro.

Observa-se que para mitigar a cheia de 100 anos na cidade de Laje do Muriaé, seria necessário, além da canalização proposta, desviar uma vazão de 244 m³/s. Caso a cheia a ser desviada fosse a correspondente a um TR de 50 anos, a vazão seria de 125 m³/s.

Futuros projetos de obras de desvio deverão levar em conta, entre outros, os seguintes aspectos quando da elaboração do projeto hidráulico: extensão do canal, o que pode resultar em custos muito elevados; baixa declividade do rio Muriaé no local, demandando a eventual construção de barragens para elevação de nível para permitir o desvio por gravidade; limitação da altura dessas barragens aproximadamente de 3 m, visando reduzir impactos socioambientais; realização de estudos de remanso.

A real viabilidade de implantação de obras do Subsistema 3 deverá ser verificada quando da fase de projetos mais avançados, com informações mais adequadas e precisas para a tomada de decisão.

Quanto a obras do Subsistema 1, não se recomenda implantá-las a montante da cidade de Laje do Muriaé, em virtude das restrições existentes nesse trecho, tais como a cidade de Patrocínio do Muriaé e a cidade de Muriaé, situadas a montante e eventualmente afetadas pelo remanso de um reservatório.

Cabe salientar que, para a cidade de Muriaé, foram consideradas como preexistentes as obras de canalização do rio Muriaé no trecho que atravessa a área urbana e da barragem do rio Preto, ambas definidas pela prefeitura municipal.

✓ Cidades de Itaperuna, Italva e Cardoso Moreira

As obras de canalização propostas para Itaperuna e Italva se mostraram a melhor alternativa para essas cidades, já que obras do Subsistema 1 nesse trecho do rio Muriaé são inexecutáveis, tendo em vista que para amortecer as cheias, seria necessária a construção de grandes reservatórios, dificultando a sua viabilização sob o ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

Obras do Subsistema 3, nesse segmento do rio Muriaé, tendem a ter alto custo, devido às baixas declividades do rio nos trechos a montante e a jusante dessas cidades. Tal fato resultaria na necessidade de implantação de grandes barragens, para elevar o nível do rio e permitir o desvio por gravidade; os reservatórios dessas barragens aumentariam ainda mais os impactos ambientais das obras de desvio e, uma vez que operam vazios, enchendo apenas nos períodos de vazões extremas, não poderiam ser aproveitados para outros usos, tais como abastecimento público ou irrigação.

A cidade de Cardoso Moreira, com 12.600 habitantes, é a mais crítica do SIEMEC. Está situada nas proximidades da foz do rio Muriaé no rio Paraíba do Sul, em uma região de extensa planície de inundação, e sujeita a grandes vazões de cheia. A solução encontrada foi a implantação de obras do Subsistema 2, com a ampliação da capacidade hidráulica do trecho fluvial natural mediante mudanças de declividades e alargamento do canal existente. A jusante da região com maior urbanização, ocorre inundação do leito maior do rio Muriaé, devendo haver restrição de ocupação; a inundação neste trecho é proveniente dos efeitos combinados entre o remanso causado pelo desague do rio Muriaé no rio Paraíba do Sul e a vasta planície de inundação existente.

Recomenda-se, adicionalmente, estudar a possibilidade de realocar a população atingida pelas cheias, que ocupam as áreas ribeirinhas apresentadas no relatório R32.

Bacia do Rio Pomba:

✓ Cidades de Cataguases e Santo Antônio de Pádua

Nas cidades de Cataguases e Santo Antônio de Pádua, as obras apresentadas, integrantes dos Subsistemas 1 e 2, constituem alternativas adequadas, oferecendo proteção em ambas as cidades para cheias com TR de 25 anos. O reservatório de Xopotó alaga uma área desocupada, controla as cheias do rio Glória e ameniza as cheias em Cataguases e em cidades que não fazem parte dos estudos específicos do SIEMEC, como por exemplo, Dona Eusébia. Obras do Subsistema 3, nessas cidades, resultariam em canais de desvio extensos e de elevado custo, devendo ser verificada sua real viabilidade através de estudos mais detalhados, em fases posteriores à do presente trabalho.

Finalmente, cabe salientar que não foram propostos diques laterais ao longo das canalizações previstas ou dos leitos naturais dos rios Carangola, Muriaé e Pomba, pois essas obras, apesar de causarem uma sensação de conforto à população, são muito susceptíveis a rompimento quando a vazão de projeto é superada.

Nesses casos, as consequências são piores que as da própria enchente, visto que o nível d'água na cidade sobe em pouco tempo, impossibilitando a remoção da população.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. IN: PMSP, PREFEITURA municipal DE SÃO PAULO. Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos, Período de Retorno. Superintendências de Projetos e de Obras, 1999.
- CASTRO, L.M.A. Proposição de Indicadores para Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana. Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- DAEE, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Instrução DPO N° 002. Diretoria de Procedimentos de Outorgas e Fiscalização, 2007.
- ENGEORPS - Corpo de Engenheiros Consultores S.A, Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, 2011.
- MARTINS, J.R.S, et al. Aplicação da Análise Benefício-Custo no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo – Estudo de Caso. 2007.
- MOURA, P.M. Contribuição para Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana. Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- PMSP, PREFEITURA municipal DE SÃO PAULO. Diretrizes de Projeto para estudos hidrológicos, Período de Retorno. Superintendências de Projetos e de Obras, 1999.
- POTAMOS, ENGENHARIA E HIDROLOGIA LTDA. Concepção das Soluções para Mitigação dos Problemas de Inundação da Cidade de Muriaé, Relatório Final, 2010.



Ministério do
Meio Ambiente

