



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo

Av. Professor Mello Moraes, 2373 – Cidade Universitária
05508-900 – São Paulo – SP – Brasil
Fax: 55-11-3818-5721 Telefone: 55-11-3818-5188

PMI - 0500

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas

O rebaixamento da calha do Rio Tietê
através da técnica de desmonte subaquático.

Aluno: Alexandre Ferreira Xavier
Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares

04 de Dezembro de 2001

TF-2001
X 19₂
Lynx 1445046

M2001 H

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005471

Sumário

1. Introdução	3
2. A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê	4
3. Hidrologia do Alto Tietê	7
4. Aspectos históricos sobre as obras hídricas do Alto Tietê.	10
5. A problemática das enchentes e os projetos recentes	12
5.1. Prejuízos financeiros decorrentes das enchentes	12
5.2. Problemas sanitários decorrentes das enchentes	13
6. Apresentação das obras de rebaixamento da calha do Tietê e o uso do desmonte subaquático	14
6.1. Utilização do desmonte subaquático	16
6.1.1. Cálculo das cargas e parâmetros de perfuração	19
6.1.2. Procedimento adotado para a realização de carregamento das cargas explosivas	21
6.1.3. Tipos de explosivos	22
6.2 Considerações sobre a segunda etapa das obras	22
7. Impactos ambientais causados pela detonação subaquática	24
8. Projetos futuros para a região do Alto Tietê	26
9. Conclusões	27
10. Referências Bibliográficas	28

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir o método utilizado para se realizar a obra de rebaixamento da calha do Rio Tietê, no trecho entre Osasco e a Barragem Edgard de Souza, em Santana do Parnaíba, SP. O desenvolvimento deste trabalho foi fundamentado nas informações técnicas obtidas durante o período de estágio na Joule Consultoria e Serviços de Detonação Ltda.

As informações foram complementadas a partir de pesquisa bibliográfica sobre o tema abordado.

Antes da apresentação das características da obra de rebaixamento propriamente dita, será abordado o panorama do Rio Tietê no contexto político do Estado, pois os projetos relacionados ao rio devem necessariamente passar pelo crivo e orçamento do governo estadual. Serão ainda apresentados aspectos relacionados à qualidade de vida da população, como a problemática das enchentes, e suas implicações, como doenças e prejuízos materiais e humanos.

Além disso, serão abordados temas relacionados à aspectos geográficos e geológicos da região denominada Alto Tietê, cujas considerações serão dadas adiante. Também serão discutidos os impactos ambientais causados pelas obras.

Entendo que no desenvolvimento de minha futura profissão, não devo focar minhas atenções apenas na obra propriamente dita; devo sim, estar atento à tudo que está por trás da necessidade de se realizar tal tarefa, que será de fundamental importância para garantir que a cidade de São Paulo e conseqüentemente, nosso país, cresça sem impedimentos ou barreiras, e que a população tenha condições de ter uma vida mais digna e decente.

Por ser um assunto bastante atual, e cujos resultados das obras irão beneficiar milhões de pessoas, propiciando uma melhor qualidade de vida e dando margem ao desenvolvimento econômico, na medida em que se cessarão os transtornos causados pelas enchentes, decidi desenvolver este tema, e acima de tudo, pelo fato de poder explorar o assunto “desmonte subaquático”, não explorado nas aulas em classe, tornando-se uma excelente oportunidade para meu próprio desenvolvimento profissional. Além disso, tento neste trabalho dar minha contribuição à aqueles que, indiretamente através de seus impostos, me ajudaram em minha formação, ou seja, a todos os cidadãos deste estado.

2. A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

A idéia de aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica relacionado com o desenvolvimento regional integrado gerou a criação das delimitações políticas das bacias hidrográficas do Estado, e a bacia de interesse neste trabalho é a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, cujos municípios integrantes são (em ordem alfabética): Arujá, Barueri, Biritiba Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapeceira da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santana de Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo, Suzano, Taboão da Serra.

A Bacia do Alto Tietê possui 3 principais cursos d'água, que são os Rios Tietê, Tamanduaté e Pinheiros.

Objetivando o aproveitamento hídrico, tanto para geração, como para abastecimento de água foram implantados os seguintes barramentos: Ribeirão do Carmo, Ponte Nova, Paraitinga, Biritiba, Jundiá, Taiacupeba, Billings, Edgard de Souza, Paiva Castro, Pirapora, Rio das Pedras e Guarapiranga.

Apresentamos na figura 1 a localização geográfica das bacias hidrográficas do estado de São Paulo, que são :

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 Mantiqueira | 12 Baixo Pardo/Grande (BPG) |
| 2 Paraíba do Sul | 13 Tietê/Jacaré (TJ) |
| 3 Litoral Norte (LN) | 14 Alto Paranapanema (ALPA) |
| 4 Pardo (Pardo) | 15 Turvo/Grande (TG) |
| 5 Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ) | 16 Tietê/Batalha (TB) |
| 6 Alto Tietê (AT) | 17 Médio Paranapanema (MP) |
| 7 Baixada Santista (BS) | 18 São José dos Dourados (SJD) |
| 8 Sapucaí- Mirim /Grande (SMG) | 19 Baixo Tietê (BT) |
| 9 Mogi (Mogi) | 20 Aguapeí |
| 10 Sorocaba e Médio Tietê (SMT) | 21 Peixe |
| 11 Ribeira do Iguape e Litoral Sul (RB) | 22 Pontal do Paranapanema (PP) |



Figura1: Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo

A região da bacia do Alto Tietê possuía uma população estimada em 16,1 milhões de habitantes em 1991, e segundo as projeções do Consórcio Hidroplan, em 2010 esta população está estimada em 19,87 milhões de pessoas, conforme a tabela 1. Consequentemente, a demanda por água nesta região também será maior, passando de 71,1 m³/s em 1991 para 77,2m³/s em 2010, conforme a tabela 2.

Tabela 1:

População da região da bacia hidrográfica do Alto Tietê.

População (1.000 hab.)	1991	2010
Urbana	15.772	19.812
Total	16.119	19.871

Fonte: Consórcio Hidroplan - 1995.

Tabela2:

Demanda de água tratada na região da bacia hidrográfica do Alto Tietê.

Usos	Demanda (m ³ /s)	
	1990	2010
Urbano	62,3	68,8
Industrial	4,6	4,8
Irrigação	4,2	3,6
Total	71,1	77,2

Fonte: Consórcio Hidroplan - 1995.

Criado pela Lei Estadual de Recursos Hídricos, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê é o "parlamento da água" na Região Metropolitana da Grande São Paulo. Todas as questões ligadas aos usos dos recursos hídricos deverão ser debatidas e decididas neste foro democrático, constituído por representantes do Estado, dos 36 municípios da Bacia e das entidades da sociedade civil, com participação paritária. O plenário do Comitê tem 48 membros, com 16 representantes por segmento.

Em seu quinto ano de existência, o Comitê estendeu sua estrutura: foram organizados cinco subcomitês regionais, deliberativos no âmbito de suas áreas de atuação.

É cada vez mais forte o consenso de que a crise da água determina o presente e o futuro da metrópole. A recuperação dos recursos hídricos, a proteção dos mananciais, a redução das inundações e a garantia do pleno abastecimento de água à população são os grandes desafios deste fim de século. Se houver participação desejada, os planos e projetos previstos para a região poderão ser equilibrados em função do interesse geral.

A figura 2 posiciona esquematicamente a bacia hidrográfica do Alto Tietê perante duas bacias vizinhas, a Bacia do Piracicaba (em amarelo) e a Bacia da Baixada Santista (em verde), mostrando a interdependência entre as mesmas, no que diz respeito aos recursos hídricos.

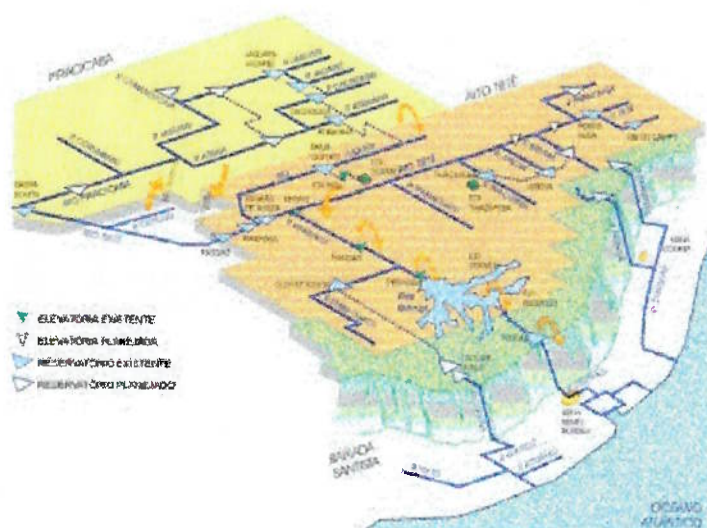


Figura2: Bacias hidrográficas do Tietê, Piracicaba e Baixada Santista.

3. Hidrologia do Alto Tietê

A parte da bacia do Alto Tietê que tem a barragem de Edgard de Souza como limite extremo de jusante é a que tem interesse do ponto de vista de formação das cheias, que provocam extensas inundações na planície aluvionar do rio Tietê na região de São Paulo.

Esta parte pode ser dividida em três setores de características distintas. O primeiro é compreendido entre as cabeceiras até a barragem da Penha, o segundo entre esta e a foz do rio Pinheiros e o terceiro entre este ponto e a barragem de Edgard de Souza, no extremo de jusante. Na bacia de drenagem do primeiro setor, com área de 1.970 km², pelos fatos de a urbanização estar mais concentrada na sua porção de jusante, de existirem dois reservatórios em operação plena (Ponte Nova e Jundiaí) e um reservatório (Taiaçupeba) ainda não totalmente operacional, e de o rio Tietê percorrer meandros dentro de extensas várzeas, as ondas de cheias são formadas lentamente, apresentando-se abatidas e com tempo de trânsito de dias. Nesse setor deverão ser implantados mais dois reservatórios de cabeceiras, Biritiba e Paraitinga, que junto com os existentes deverão controlar uma área de drenagem de 920 km².

No segundo setor, as bacias de drenagem, que totalizam 780 km², encontram-se intensamente urbanizadas, apresentando alto grau de impermeabilização dos seus solos.

Além disso, os principais afluentes, dentre os quais se destaca o rio Tamanduateí, com uma área de drenagem de 330 km², e inclusive o próprio rio Tietê, estão total ou parcialmente canalizados.

Já o terceiro setor apresenta características similares às do segundo, ressaltando-se que, em geral, a urbanização das bacias de drenagem, cujas áreas perfazem aproximadamente 550 km² (com exclusão da bacia do rio Pinheiros) não alcançam os altos índices de urbanização do segundo. Cabe frisar que durante a ocorrência de cheias o rio Pinheiros é isolado do rio Tietê pelo fechamento da estrutura de Retiro, situada nas proximidades da foz do primeiro. Observa-se, portanto, a existência de tempos diferenciados de resposta às chuvas nos setores da bacia do rio Tietê a montante e a jusante da barragem da Penha. Assim, uma mesma tormenta provoca, nesses setores, ondas de cheias com defasagem de picos. Essa é benéfica para a calha do rio Tietê a jusante da barragem da Penha que, numa situação crítica, passa a escoar as vazões originadas, em grande parte, na sua própria bacia de drenagem, com contribuição pouco expressiva do trecho de montante dessa barragem.

Tal constatação mostra a importância da preservação das várzeas a montante da barragem da Penha, para que não haja o agravamento das inundações no trecho já crítico de jusante.

A tabela 3 apresenta as porcentagens da área urbana ocupada em 1993, calculadas pelo Consórcio Hidroplan, por ocasião da elaboração do Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista, em 1995. Constan do mesmo quadro as projeções da área urbana ocupada nos mesmos setores conforme projeções efetuadas no referido Plano, tendo como horizonte o ano 2020. Do exame da tabela, nota-se a alta porcentagem da área urbana ocupada no setor 2 (barragem da Penha - foz do rio Pinheiros), que havia atingido 81% em 1993, podendo chegar aos 88% em 2020.

Tabela3:**Área Urbana ocupada na bacia do Alto Tietê**

ÁREA URBANA OCUPADA NA BACIA DO ALTO TIETÊ			
SETOR	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	ÁREA URBANA OCUPADA (%)	
		1993	2020
1. Cabeceiras - Barragem da Penha	1.970	22	28
2. Barragem da Penha - Foz do Pinheiros	780	81	88
3. Foz do Pinheiros - Barragem Edgard de Souza	550 (1)	34	43
	820 (2)	55	63
Cabeceiras - Barragem Edgard de Souza	3.300 (1)	38	45
	3.570 (2)	42	49

Fonte: Consórcio Hidroplan
 (1) Excluindo a bacia do rio Pinheiros
 (2) Incluindo a bacia do rio Pinheiros a jusante das barragens da Pedreira (Billings) e Guarapiranga

Podemos observar que de 1993 até 2020 os acréscimos de área urbana ocupada nos três setores, com exclusão da bacia do rio Pinheiros, totalizam aproximadamente 230 km². Além disso, deverá ocorrer um aumento expressivo de áreas impermeabilizadas nos setores 1 e 3, assim como a implantação de obras de micro e macrodrenagem, o que se refletirá num aumento progressivo de vazões de cheia no rio Tietê, a menos que sejam implantadas obras de contenção de cheias ("piscinões") e tomadas medidas restritivas e de controle de uso e ocupação do solo. Estima-se que o controle de cheias desses 230 km², exigirá um volume de armazenamento de cerca de 7 milhões de metros cúbicos nos "piscinões" que venham a ser cogitados.

Deve-se ressaltar que o Consórcio Hidroplan adotou o conceito de "área urbana ocupada", e este não inclui as áreas ocupadas por chácaras e loteamentos sem edificações. Mesmo assim, verifica-se que a percentagem de área urbana ocupada nos três setores, com a inclusão da bacia do rio Pinheiros a jusante dos barramentos de Pedreira e Guarapiranga, tinha atingido 42% em 1993, valor próximo da percentagem de urbanização da bacia do Alto Tietê, a montante de Parnaíba, projetadas para o ano 2005, de 45%, conforme estudos realizados em 1986.

A bacia do Alto Tietê possui o maior parque industrial e o maior conglomerado urbano do hemisfério sul, exatamente nas cabeceiras de um rio, ao contrário da maioria das grandes metrópoles do mundo inteiro. Possui hoje mais de 17 milhões de habitantes e embora a metrópole esteja crescendo a um ritmo bem menor que nas décadas passadas, espera-se para o ano 2020 cerca de 20,6 milhões.

Ao longo dos anos, vários empreiteiros e/ou empresas de consultoria foram contratadas para se realizar estudos sobre o rio Tietê afim de se determinar as vazões ideais para se evitar enchentes. De acordo com o que foi discutido acima, isto é, através do processo de urbanização e dos projetos de microdrenagem implantados, observa-se a necessidade de aumento do poder de vazão do rio, afim de se conter tais acréscimos, cujos valores estão na tabela 4.

O mesmo pode ser observado na tabela 5, cujos valores de pico observados em épocas de cheias ao longo dos anos mostram a necessidade de aumento de sua capacidade de vazão.

Tabela 4:*Vazões de projeto para o Rio Tietê*

VAZÕES DE PROJETO (m³/s)				
ANO	PROJETISTA	TRECHO GUARULHOS A TAMANDUATEÍ	TRECHO TAMANDUATEÍ A OSASCO	EM EDGARD DE SOUZA
1894	J. P. FERRAZ	-	174	-
1922	J. A. FONSECA RODRIGUES	-	360	-
1925	SATURNINO DE BRITO	300 - 400	300 - 400	-
1950	LYSANDRO P. DA SILVA	320 - 450	430 - 560	-
1968	HIBRACE (1)	515	650	815
1986	PROMON	640	1.188	1.434 (*)
1995	HIDROPLAN (1)	610	1.450	1.715 (**)

(1) Estudos em nível de Plano Diretor
 (*) Horizonte : ano 2005
 (**) Horizonte : ano 2020
 Fonte: DAEE – SP – 1996

Tabela 5:*Vazões de pico observadas na bacia do Alto Tietê*

BACIA DO ALTO TIETÊ VAZÕES DE PICO OBSERVADAS (m³/s)			
ANO	LOCAL		
	BAIRRO DO LIMÃO	CANAL DO ANASTÁCIO	PARNAÍBA/ EDGARD DE SOUZA
1906	-	278	462
1923	255	274	358
1929	318	310	521
1930	240	220	311
1982	530	-	755 (2)
1983	-	-	823 (2)
1987	580(1)	-	1.209 (2)
1987	-	-	821 (2)

(1) Estimada pelo FCTH
 (2) Estimadas indiretamente pela ELETROPAULO
 Fonte: DAEE – SP

4. Aspectos históricos sobre as obras hídricas do Alto Tietê.

"A questão das inundações é antiga. Vem desde a fundação da vila. A pequena declividade do leito do rio e de seus afluentes determinava, na estação chuvosa, o transbordamento das águas, notadamente no trecho situado entre a Penha e Osasco, em que o Tietê se desenvolvia em trecho extremamente sinuoso, em quase cinquenta quilômetros de curso. Toda a baixada em que flui o Tamanduateí, desde o Ipiranga até o desagadouro, ficava alagada, juntando-se o lençol de extravasamento ao formado pelas enchentes do Tietê, cuja caixa de escoamento não permitia vazão ao débito, enormemente aumentado, de sua própria correnteza e a de seus afluentes, também engrossados pelas chuvas de regiões montanhosas, então densamente arborizadas." - Extraído de "A história do Rio Tietê", de Mello Nóbrega.



Figura 3: Enchente na Rua Cantareira, em 1929.

Apresenta-se agora uma compilação das várias tentativas ao longo dos anos e dos governos para se conter a problemática das enchentes, desde o século XIX (NÓBREGA, MELLO, 1978, p.199).

Em 1841 ocorreu o primeiro planejamento racional das obras, realizado pelo engenheiro Carlos Abraão Bresser, a pedido do governador Miguel de Souza Melo e Alvim. Em 1848 votou-se a lei que autorizava a canalização do Tamanduateí. Procederam-se estudos sobrelevando os realizados pelo governo anterior de João Teodoro Xavier, para a canalização das várzeas do Carmo e de São Bento. Em 1886, na administração de João Alfredo Correa, o assunto voltou à tona, chegando-se à conclusão de que a descarga do Tamanduateí, aumentada em mais de 24 vezes, na época das enchentes, não poderia escoar-se por valas, tanto mais que o fluxo dessas águas sofria represamento pelo volume das que extravasavam do leito do Tietê.

Em 1887, Visconde de Parnaíba contratou novos estudos, porém recomendou que fossem considerados os regimes dos dois rios, realizados sob a orientação do engenheiro Bianchi Bertoldi. As observações levadas a efeito aconselhavam regularizar o leito do Rio Tamanduateí e o do Tietê, porém mais uma vez os altos custos engavetaram o projeto.

Após a proclamação da república, reiniciaram-se os estudos, reviraram-se projetos, e refizeram-se os cálculos das comissões técnicas.

Em 1890, Antônio Francisco de Paula Souza e Teodoro Sampaio apresentaram novas conclusões, e posteriormente, a Comissão de Saneamento, dirigida pelo Dr. Pereira Ferraz ratificou a utilidade desse plano que era, em linhas gerais, o do Visconde Parnaíba: era necessário retificar o leito do Tamanduateí, transformando-o em canal largo e profundo, o que exigia o soerguimento dos terrenos marginais, bem como em conveniente extensão, fazer escoar por uma calha artificial, os meandros e coroas do Tietê. A comissão de Saneamento funcionou até 1898, quando foi dissolvida. Deixara, porém, definitivamente assentada a resolução da velha pendência técnica.

Em 1916 inaugurou-se o último trecho da canalização do Tamanduateí. Quanto aos estudos complementares do Tietê, assentou-se o plano da retificação do curso entre Osasco e a

Ponte das Bandeiras, uma parte da qual já havia sido realizada, em anteriores administrações, em 1892 e 1893: supressão da ilha de Anhumas, cortada por um canal de 1210 metros; abertura dos canais de Osasco (1260 m) e do Anastácio (800m); desobstrução da curva entre os quilômetros 16 e 18 da via férrea que vai para Sorocaba.

Retificado o Tamanduateí, continuou armado o problema do Tietê, a desafiar cálculos e orçamentos.

Em 1923 os trabalhos de planejamento foram entregues à direção de Saturnino de Brito. Iniciados em Janeiro do ano seguinte, esses estudos foram apresentados à consideração administrativa em Dezembro de 1925. Por esse projeto, o curso do rio, sinuosíssimo, de 46 quilômetros, entre Guarulhos e Osasco, ficaria reduzido a 26 quilômetros; a declividade média, de 13 centímetros por mil metros, passaria a ser de 25 da Penha à Ponte das Bandeiras e 20 daí em diante. O perfil final daria conta da vazão necessária.

Em 1927 a Comissão de Melhoramentos do Tietê acrescentou ao plano anterior a construção de comportas para a regularização do nível das águas e de dois grandes lagos, na Ponte das Bandeiras, com 1 milhão de m² de área superficial.

Dispondo de maiores elementos de observação, notadamente a enchente de 1929, a maior registrada em quase meio século, uma nova comissão, chefiada por João Florence de Ulhoa Cintra, modificou alguns pontos deste projeto, e pôde introduzir melhorias no plano anterior: prolongou o canal até a extremidade de jusante da grande curva que o rio faz em Osasco; projetou a caixa artificial de escoamento em declividade uniforme, suprimindo as comportas; previu a reconstrução de cerca de vinte pontes nas atuais travessias das vargens, inclusive a nova Ponte da Bandeiras. Às margens do rio canalizado correrão duas largas avenidas. Essa faixa de regularização, com duzentos metros de largura, ocupará cerca de oito milhões de m².

Porém, a crise de 1929 e a revolução de 1930 impediram a imediata execução do projeto.

1938 - A execução do plano de retificação, foi iniciado, com assinatura do contrato para a abertura do canal de Osasco, e continuou nas bases assentadas. Do canal projetado, haviam sido executados diversos trechos, até 1952, no total de cerca de 12 quilômetros; das 20 pontes previstas, 4 já estavam construídas.

5. A problemática das enchentes e os projetos recentes



Figura 4: Enchente na zona norte de São Paulo, em 1999.

Observa-se a partir dos dados apresentados nos itens anteriores, que os projetos de canalização do rio Tietê, elaborados em diferentes épocas, tiveram cada qual uma vazão para dimensionamento. Por outro lado, apresentam-se também as vazões de pico de algumas cheias observadas no Alto Tietê, que provocaram inundações generalizadas ao longo de sua calha.

Também foi observado nos dados fornecidos o progressivo aumento das vazões máximas observadas, em função, principalmente, do intenso processo de urbanização a que está submetida a bacia do Alto Tietê. Esse processo e a conseqüente impermeabilização dos terrenos se deu, conforme já referido, com maior intensidade na bacia de drenagem a jusante da barragem da Penha até a foz do rio Pinheiros. Por esse motivo, do ponto de vista das inundações, o trecho crítico situa-se nesse trecho numa extensão de cerca de 24,5 km, onde sua calha se desenvolve confinada entre vias marginais de intenso movimento e onde se verifica a existência de inúmeras pontes.

Na década de 70, o Governo do Estado deu continuidade à obra abrangendo o trecho entre o cebolão e o reservatório de Edgard de Souza, e a montante de Guarulhos, até São Miguel Paulista, incluindo a construção da barragem da Penha e do Parque Ecológico Tietê.

Em 1986 foi elaborado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, o projeto "Ampliação da Calha do Rio Tietê entre as Barragens da Penha e Edgard de Souza", abrangendo uma extensão de 45 km. Esse projeto encontra-se totalmente executado entre a barragem Edgard de Souza (em Santana de Parnaíba) e Osasco. As vazões desse projeto foram estimadas considerando-se a projeção da urbanização da bacia do Alto Tietê para o ano 2005.

O projeto conta com recursos de financiamento do Governo do Japão através do Overseas Economic Cooperation Fund – OECF.

5.1. Prejuízos financeiros decorrentes das enchentes

Em termos técnicos, a enchente é um fenômeno natural. A responsabilidade humana (ou seja, do poder público), pode se verificar com a inundação, que vem a ser o acúmulo de águas decorrente da impossibilidade de vazão das chuvas que não penetram o solo nem se escoam em ritmo que possam ser absorvidas.

O transbordamento de um córrego, em princípio, é culpa do município. No entanto, já houve casos em que a prefeitura conseguiu provar que o afluente só transbordou porque o rio Tietê não deu vazão às suas águas.

Para buscar ressarcimento, o primeiro passo é identificar a responsabilidade. De acordo com Marcelo de Aquino, procurador do Estado, se a vítima foi colhida nas avenidas marginais, o culpado em tese, é o Estado - a quem cabe os rios Tietê e Pinheiros. Nos demais pontos da cidade, a responsabilidade é da prefeitura.

Nos casos em que a inundação ocorre por falta de manutenção e limpeza de galerias pluviais, bocas-de-lobo e esgotos, o município deve responder pelos danos causados. O prejudicado deve munir-se de todas as provas que puder, como fotos e testemunhas de que a manutenção não foi feita e de que o prejuízo foi provocado pela inundação. Pode-se concluir, inclusive, pela responsabilidade conjunta do município e do Estado, na chamada "relação de causalidade".

5.2. Problemas sanitários decorrentes das enchentes

Um dos problemas que surgem para as populações afetadas pelas enchentes é a questão das doenças que as águas contaminadas podem transmitir. Dentre as doenças devem ser citadas a hepatite, as diarreias, verminoses, parasitoses, a leptospirose e também a dengue, devido às águas paradas.

A leptospirose, a mais comum das doenças decorrentes das enchentes, é transmitida por um micro organismo chamado *Leptospira* que é transmitido pela urina de animais como os ratos, cães, gado bovino e suíno contaminados. O rato é o maior responsável pela transmissão da leptospirose ao homem. A transmissão se dá através da ingestão de alimentos e bebidas contaminadas pela urina do animal e também pode penetrar no organismo através de pequenas lesões, ferimentos na pele e mucosas.

Muitas infecções ocorrem após chuvas e enchentes, quando há grande movimentação de ratos nas áreas alagadas. O tempo entre a contaminação e o aparecimento da leptospirose (período da incubação) é de 2 a 20 dias, geralmente de 10 dias.

Os sintomas são febre alta, calafrios, dores abdominais, manchas na pele, vômitos, conjuntivas congestas, dores de cabeça, no corpo e principalmente na panturrilha (batata da perna). Estes sintomas podem permanecer de três dias a sete dias, desaparecendo espontaneamente ou então caminhar para a forma mais grave onde a pele e os olhos ficam amarelados (icterícia) e surgem sangramentos na pele e mucosas, desidratação e comprometimento dos rins.

Ao surgirem os sintomas, o indivíduo afetado deve procurar imediatamente auxílio médico.

Para lidar com os resíduos provenientes das enchentes, tais como as lamas, é importante utilizar botas e luvas de borracha, ou sacos plásticos duplos amarrados nas mãos e nos pés, evitando o contato com a pele e com ferimentos. Depois de lavar o recinto (casa, quintal, calçada), é preciso desinfetar com uma solução forte de cloro. Recomenda-se para um balde de 10 litros de água limpa, a adição de 2 xícaras de café de água sanitária; para uma lata de 20 litros de água limpa, adicionar 4 xícaras de café de água sanitária.

6. Apresentação das obras de rebaixamento da calha do Tietê e o uso do desmonte subaquático



Figura 5: Obras na região de Osasco, na altura da ponte Piratininga, em Outubro de 1999.

O projeto de rebaixamento da calha do Tietê engloba duas fases para sua execução. A primeira delas, o objeto deste estudo, já foi terminada e contemplou o trecho entre Osasco e a barragem Edgard de Souza, em Santana do Parnaíba, onde abordaremos os aspectos técnicos de sua execução. O segundo trecho será entre Osasco e o bairro paulistano da Penha, cujas obras, na data atual encontram-se em fase de concorrência pública.

As obras de rebaixamento da primeira fase da calha foram iniciadas em dezembro de 1997 e concluídas em dezembro de 2000. São 16 quilômetros do rio entre a barragem de Edgard de Souza e o Cebolão, abrangendo os municípios de São Paulo, Osasco, Carapicuíba, Barueri e Santana do Parnaíba. Neste trecho a capacidade de vazão do rio aumentou de 700 para 1180 m³/s, na altura da foz do Pinheiros; e de 840 para 1440 m³/s, na altura da barragem Edgard de Souza.

Os efeitos destas intervenções já foram sentidos no bairro Rochdalle, no município de Osasco, que não tem sofrido com as inundações do rio Tietê.

O projeto, licenciado ambientalmente após ampla discussão junto ao meio técnico e a sociedade, teve como base os estudos anteriormente desenvolvidos pelo DAEE e diversos dados complementares, recentemente obtidos, referentes aos levantamentos topobatimétricos, investigações de sub-superfície e atualização cadastral de interferências.

Com a impossibilidade de desvio das águas do rio Tietê para o rio Pinheiros, tendo em vista restrições ambientais, políticas e legais, e conseqüentemente, a não utilização da Barragem Móvel, a execução a seco ficou praticamente inviabilizada pelo alto risco de que, com pequenas precipitações as áreas ensecadas poderiam ser inundadas com consequentes paralizações e retomadas constantes das obras, o que prejudicaria, em muito, o cumprimento do prazo contratual e implicaria na elevação de seu custo.

Em função desta imposição optou-se pela solução de escavação submersa do leito do rio, tanto para material de 1^a, 2^a e 3^a categoria, de acordo com o critério de classificação do DNER:

- **Material de 1ª categoria** - compreende os solos em geral, residual ou sedimentar, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15m, qualquer que seja o teor da umidade apresentado.
- **Material de 2ª categoria** - compreende os de resistência ao desmonte mecânico inferior à rocha não alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente; a extração eventualmente poderá envolver o uso de explosivos ou processo manual adequado. Incluídos nesta classificação os blocos de rocha, de volume inferior a 2m³ e os matacões ou pedras de diâmetro médio entre 0,15m e 1,00m.
- **Material de 3ª categoria** - compreende os de resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada e blocos de rocha, com diâmetro médio superior a 1,00m, ou de volume igual ou superior a 2m³, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento se processem com o emprego contínuo de explosivos.

Somente na escavação dos taludes foram utilizados equipamentos estacionados nas margens.

Outro fator relevante na definição do método construtivo foi a impossibilidade de utilização da rodovia Castelo Branco para o transporte do material escavado para os bota-foras. Assim, o processo adotado consistiu na escavação submersa com utilização de dragas ou escavadeiras hidráulicas, conforme a figuras 6, com apoio de barcas autopropulsoras, para carregamento e transporte do material escavado até um porto construído em local estratégico na margem do Tietê. Neste porto, o material é retirado da barcaça por draga ou guindaste com "clam shell" e carregado em caminhões basculantes e daí transportados para os bota-foras, sem utilização da rodovia Castelo Branco.



Figura 6: escavação submersa com utilização de escavadeiras hidráulicas.

Os estudos hidráulicos e os dados dos levantamentos de campo definiram a necessidade de pequenos ajustes no traçado do eixo do canal do rio, na largura da seção e, principalmente, nas declividades dos taludes das margens no trecho acima do nível máximo das águas para a vazão de projeto.

A mudança na declividade dos taludes foi estudada com o intuito de se evitar qualquer alteração no traçado do sistema viário existente nas margens do canal e a construção de muros de contenção, que resultariam acréscimo no custo da obra, além de problemas de desvio de tráfego.

O único local onde não foi possível essa solução, foi o trecho da avenida Presidente Kennedy, em Osasco, entre a ponte Piratininga e o complexo Maria Campos (figura 5), onde, com participação da Prefeitura e do DAEE, pode-se elaborar um remanejamento da avenida.

As interferências causadas pelo rebaixamento da calha nas obras existentes, pontes, passarela de Osasco, de obras no oleoduto da Petrobrás, adutora e interceptor da SABESP, que cruzam o rio, foram analisadas e seus projetos elaborados de tal forma a preservarem

as obras existentes. Foram também levantadas e estudadas as chegadas de galerias, bueiros e córregos e elaborados projetos específicos para cada caso.

O estudo do revestimento do talude do canal mereceu uma abordagem especial visando, principalmente, a preservação de sua integridade geométrica e a redução dos serviços de manutenção.

6.1. Utilização do desmonte subaquático

Como citado acima, nos materiais de 3ª categoria foi utilizado o método de desmonte subaquático. Este método é amplamente utilizado na engenharia em várias situações, tais como aprofundamento de portos, canais e rios, escavação de trincheiras para a instalação de dutos de óleo, gás e cabos de telecomunicações, condutos para hidroelétricas e indústrias, demolição de pilares, de navios afundados, escavações para fundações em engenharia civil, exploração de depósitos minerais, dentre outros.

Todas estas operações demandam um alto grau de especialização, tais como as operações especializadas para a superfície.

Os principais métodos que podem ser utilizados numa operação de desmonte subaquático são os seguintes:

- a) Perfuração e carregamento a partir de balsas ou plataformas elevadas.
- b) Perfuração e carregamento com mergulhadores.
- c) Quando a perfuração não é possível, utiliza-se o método da detonação à partir do leito rochoso, utilizando-se caixas metálicas contendo os explosivos. É um método caro, e se aplica portanto a pequenas extensões, e a altas profundidades, devido ao aumento do contato explosivo/rocha, devido à alta pressão incidente sobre o container metálico.

No caso das obras do Tietê, foi utilizado o método realizado à partir de plataformas flutuantes (balsas). A perfuração feita à partir de plataformas elimina muitas interrupções causadas por agentes exteriores, porém um alto investimento inicial é necessário por causa do alto custo dos equipamentos embarcados.

Os principais equipamentos embarcados são as perfuratrizes e os compressores. Os secundários (caso necessários), são geradores, âncoras ou guinchos, um pequeno paiol de explosivos, um depósito de materiais e acessórios para perfuração, e um escritório.

A disposição destes equipamentos na área útil da plataforma não segue um padrão pois muitas destas estruturas são construídas para um caso específico, e depois são desmontadas. A escolha de uma ou outra depende de condições ambientais, fluxo da água, ondas, magnitude da operação, dentre outras.

A área de trabalho é em função do layout originado pela disposição dos equipamentos principais e auxiliares, dimensionados à atender a produção desejada.

Na figura 7, destaca-se a torre de perfuração instalada na balsa de perfuração. Observe a instalação sobre trilhos, de modo otimizar a furação valendo-se do posicionamento fixo da balsa, de modo a perfurar a maior quantidade possível de furos sem se deslocar a balsa.

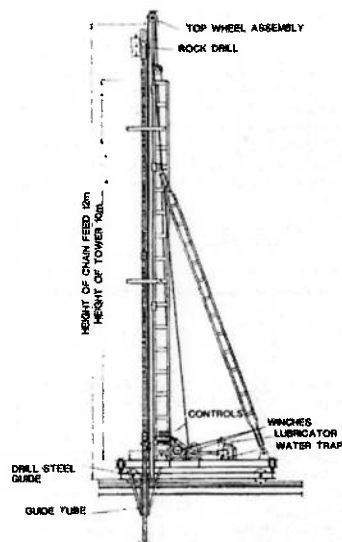


Figura 7: Esquema da torre de perfuração.

A disposição dos equipamentos na área útil da balsa visa otimizar a produção e facilitar as atividades, bem como o deslocamento de pessoal e o ferramental necessário, pois as atividades tem que se desenvolver num espaço restrito, porém com eficiência e conforto para os operadores, e como já foi citado acima, esta disposição pode variar para cada caso. O layout utilizado para o desmonte do leito do Tietê utiliza uma perfuratriz localizada na lateral da balsa, apoiada em trilhos, podendo possuir outra perfuratriz, também apoiada em trilhos, de modo a aumentar a produtividade. Possui boa área de trabalho, onde os acessórios podem ser bem distribuídos ao longo da plataforma, tais como um contêiner, que serve como almoxarifado, e os compressores, conforme pode ser verificado na figura 8.

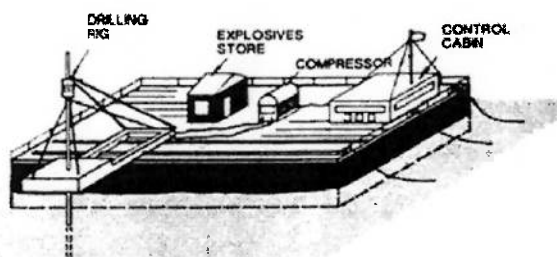


Figura 8: Disposição dos equipamentos na balsa de perfuração.

A foto seguinte (figura 9) mostra a disposição dos equipamentos na balsa utilizada no rebaixamento da calha do Tietê. Observe a disposição dos equipamentos, tais como as torres de perfuração montadas sobre os trilhos, e os compressores e o container postos de modo a equilibrar o peso proporcionalmente à área da balsa, não interferindo portanto, na sua estabilidade. Observe também que há uma boa área para circulação de pessoal e para a realização das tarefas, tais como acréscimos ou retirada de hastes de perfuração, manutenção dos equipamentos, dentre outras.



Figura 9: Fotografia da balsa utilizada pela Joule Consultoria no rebaixamento da calha do Tietê, em foto tirada em Outubro de 2000.

Também podem ser adotados, de acordo com critérios citados anteriormente, outros arranjos de disposição dos equipamentos, que serão citados neste trabalho, porém que não foram utilizados nas obras, devido ao seu alto custo comparado com o arranjo adotado.

Dentre eles, pode ser citada uma disposição que possui a característica das perfuratrizes atuarem na parte central da balsa, correndo em uma travessa móvel, conforme a figura 10.

Como desvantagem está a dificuldade dos operários em operar a perfuratriz, para se realizar acréscimo de hastes, por exemplo.

Assim recomenda-se em operações onde não se necessite acréscimo de hastes.

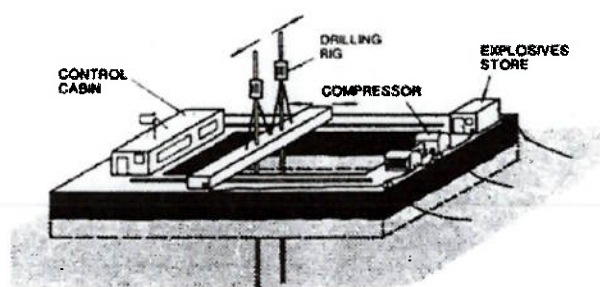


Figura 10: esquema de arranjo posicional dos equipamentos.

Em outro arranjo a ser citado, conforme a figura 11, a balsa atua fixa ao leito subaquático devido aos pés de atuação hidráulica, que a “ancoram” no fundo estabilizando-a, possuindo portanto, a vantagem de executar uma perfuração mais precisa, porém este mecanismo é mais caro que o convencional, inviabilizando-o em alguns casos.

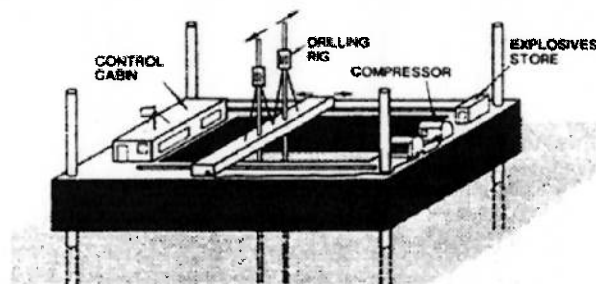


Figura 11: esquema de arranjo posicional dos equipamentos.

O objetivo destes arranjos é sempre maximizar as operações, de modo a executar o máximo número possível de operações simultâneas, valendo-se das condições existentes.

As hastes de perfuração devem possuir o maior comprimento possível, dentro dos parâmetros apresentados acima, de modo a minimizar o número de paradas para se acrescentar hastes.

As torres de perfuração são montadas em plataformas móveis individuais, de modo a poderem perfurar a maior quantidade possível de furos sem deslocar a balsa, o que também reduz as perdas de tempo para se movimentar o equipamento.

A balsa é ancorada em vários pontos afim de se evitar movimentação em qualquer eixo. No caso de movimentação vertical da água, como ondas, o efeito direto é na força vertical atuante na perfuração. A movimentação da balsa pode ser feita manualmente, por guinchos pneumáticos, hidráulicos ou elétricos. Neste último caso, deve-se tomar cuidado, pois curto-circuitos podem causar ignição das cargas de explosivos ao se utilizar espoletas elétricas.

6.1.1. Cálculo das cargas e parâmetros de perfuração (JIMENO, CARLOS, 1995, p.272)

A diferença básica entre o desmonte num banco e o desmonte subaquático é que neste último temos um novo fator atuante: a coluna d'água, que influencia de modo a alterar as características de performance do desmonte.

Além disso, como já citado, aumentam as chances de ocorrerem erros na perfuração, tais como de embocamento e desvios de furação, o que pode impedir a fragmentação da rocha, ou causar excesso de carga, devido à proximidade entre furos desviados.

Para calcular a razão de carga, a seguinte equação é utilizada:

$$CE = 0,5 \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} + 0,1 \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} \times He \times 1 \text{ (m}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Onde He é a “altura de rocha” equivalente à coluna d'água + o material que recobre o fundo do leito.

$$He = \frac{\rho_a}{\rho_r} . Ha + \frac{\rho_m}{\rho_r} . Hm + Hr \quad (2)$$

Onde:

ρ_a – densidade da água

ρ_m – densidade do material acumulado acima da rocha

ρ_r – densidade da rocha

H_a – altura da coluna d'água

H_m – altura da camada de material depositado acima da rocha

H_r – altura de rocha

Este valor oscila entre 0,5 e 3 kg/m³ mas, fora isso, há outro fator determinante na obtenção deste valor, que é a capacidade volumétrica das caçambas de dragagem, pois como não há desmonte secundário, este material deverá estar pronto para ser removido logo após a detonação, não havendo fogacho. Essa correlação pode ser observada na tabela 6, que apresenta quatro tipos de draga e o tamanho máximo dos blocos permitidos, e também o fator de carga adequado.

Tabela 6:

Correlação entre equipamento para escavação e tamanho dos blocos.

Tipo de draga	Tamanho máximo dos blocos (m)	Fator de Carga CE (kg/m ³)
Bucket wheel	0.6	0.5 – 3.0
Cutter Section Dredger	0.3	1
Crab Dredger	0.3	1
Dipper Dredger	0.8	0.5 – 2.5

Fonte: Jimeno, Drilling and Blasting of rocks, 1995.

O diâmetro de furação pode ser obtido através da correlação com a altura do banco, conforme a tabela 7.

Tabela 7:

Diâmetro de furação em função da altura do banco.

Diâmetro de furação	Altura do banco H (m)
30	0 – 3
40	2 – 5
51	3 – 8
70	5 – 15
100	6 – 20

Fonte: Jimeno, Drilling and Blasting of rocks, 1995.

A concentração linear de carga q (kg/m) é obtida multiplicando-se a razão de carga pela área de quebra efetiva.

A área de quebra efetiva, A_a (m²) é obtida

$$A_a = \frac{q_l}{CE} \quad (3)$$

A malha de perfuração é definida pela relação entre afastamento e espaçamento: $A \times E$:
O usual é adotar $A=E$, portanto

$$A = \sqrt{A_a} \quad (4)$$

A subfuração S é obtida em função do formato da malha e do ângulo de perfuração, conforme a tabela 8:

Tabela 8:
Obtenção do valor de S (subfuração)

Tipo de arranjo	Angulo de perfuração		
	90°	80°	70°
Quadrado	0,7 A	0,88A	A
Retangular	0,56A	0,7A	0,90A

Fonte: Jimeno, *Drilling and Blasting of rocks*, 1995.

O volume de rocha desmontada é o volume nominal de rocha acrescentado da subfuração, que é produzida no formato de um cone invertido.

$$VR = (AaH) + \left(\frac{AaS}{3}\right) = Aa\left(H + \frac{S}{3}\right) \quad (5)$$

A carga por furo é obtida por:

$$Q_b = CE \times VR \quad (6)$$

A altura da carga de coluna, l (m):

$$l = Q_b/q_l \quad (7)$$

A altura do tampão, T (m):

$$T = L - l \quad (8)$$

Normalmente o valor do comprimento do tampão é de 15x D (diâmetro de furação), porém com um mínimo valor de 0,5m. Porém, se não ocorrem limitações ambientais, os furos podem ser carregados ao longo de todo seu comprimento, pois a pressão de coluna d'água confina os gases gerados pela detonação.

6.1.2. Procedimento adotado para a realização da operação de carregamento das cargas explosivas

Após a remoção da haste de perfuração foi feito o carregamento, utilizando-se cartuchos plásticos de ação impermeabilizante, de modo a proteger a carga explosiva da ação da água. Foi colocado do lado de fora da tubulação guia um anel que serviu para resgatar o cordel detonante, ou o tubo condutor de onda de choque - TTOC, de acordo com a escolha do executor. A detonação foi iniciada com os dispositivos convencionais, tais como um detonador elétrico, ou revólver de detonação ou espoleta acionada por estopim. Todos os acessórios que puderam vir a entrar em contato com a água possuíam total impermeabilidade, ou uma especificação sobre o prazo máximo para seu bom funcionamento abaixo do nível d'água, para uma certa profundidade. Podemos acompanhar este procedimento através da ilustração a seguir (figura 12):

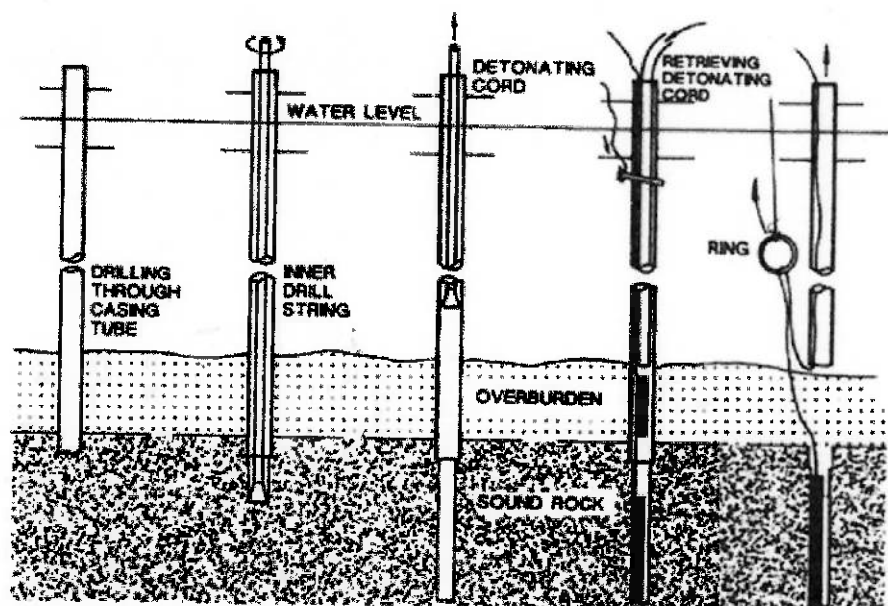


Figura 12: procedimento adotado para o carregamento dos explosivos

6.1.3. Tipos de explosivos

Os explosivos usados para este tipo de operação possuem uma composição química tal que não se alterava a sensibilidade de detonação mesmo após algumas horas submerso. Isso pode ser obtido por um alto explosivo nitroglicerinado, porém pode ocorrer o risco de se aumentar a sensibilidade e ocorrer a “detonação por simpatia”. Também aumentam-se os riscos na operação de carregamento.

De acordo com Langefors, deve-se obedecer a seguinte relação para não ocorrer detonação por simpatia:

$$Q_1 \text{ (kg/m)} \geq 0,75 D \times E^2 \text{ (m)} \quad (9)$$

6.2. Considerações sobre a segunda etapa das obras

A segunda etapa das obras de aprofundamento do rio Tietê, no trecho entre Osasco e a Penha, estão em fase de licitações, e como características a serem apontadas desde já citam-se as maiores dificuldades para sua execução em virtude das inúmeras interferências existentes neste trecho, como pontes, adutoras, interceptores, coletores-tronco de esgotos, tubulações de energia elétrica, linhas telefônicas e de gás encanado etc. e por estarem localizadas na região central da cidade de São Paulo.

Para evitar o trânsito, pela pista expressa da Marginal do Tietê, dos milhares de caminhões necessários para retirar 6 milhões de metros cúbicos de material escavado do fundo do rio, o secretário dos Recursos Hídricos, Antônio Carlos Mendes Thame, optou pelo transporte da rocha desmontada em barcas.

Também o reforço da estrutura de pontes será feito de forma a não interferir no trânsito da Marginal, que deve ser interditado minutos antes da detonação das rochas do fundo do rio. Haverá obras especiais na embocadura de cada riacho interceptado, caso contrário eles passariam a desaguar no Tietê através de uma cachoeira de 3 metros, provocando erosão.

Quando toda a obra estiver pronta, o Tietê correrá num leito mais profundo. Na altura da Ponte do Limão, por exemplo, hoje o rio corre a 716 metros acima do nível do mar. Ele terá como nível normal a cota de 713 metros, o que dá uma grande margem de segurança, pois nesse ponto o Tietê só extravasa quando ultrapassa a cota 721. A previsão é de que, pronta toda a obra, o rio só extravase se chover mais de 120 mm em 24 horas em toda a Região Metropolitana. Trata-se da chamada "chuva centenária", porque a possibilidade de que aconteça é de uma a cada cem anos.

7. Impactos ambientais causados pela detonação subaquática

O desmante subaquático é associado com muitos desafios e problemas, tais como: obter a fragmentação necessária, evitar perturbações e danos ao meio ambiente, como ruído, vibrações do solo, e ondas de choque que se propagam na água.

Se estes fatores não forem controlados, poderão causar danos à vizinhança da obra, seja em estruturas ou seres humanos, seja à vida aquática ou às embarcações.

No caso do desmante subaquático, deve-se ter em consideração que na água a energia dos explosivos é transmitida com grande eficiência, devido à baixa compressibilidade do líquido, o que significa que a onda de choque gerada possui alto poder destrutivo, mesmo em longas distâncias.

Os principais problemas ambientais causados pelo desmante subaquático são:

- Vibração do terreno
- Ruído
- Propagação de ondas de choque na água

As vibrações no solo devido às detonações trazem desconforto à população vizinha e danos às estruturas. O ruído é outro importante parâmetro. A maioria das reclamações oriundas da vizinhança é sobre o ruído. Ao ouvir o ruído gerado pela detonação, e juntando-se ao efeito desconfortante da vibração, os residentes podem pensar que as estruturas de suas casa também possam estar sofrendo algum dano. Este efeito psicológico faz um papel importante no comportamento da vizinhança. O barulho contínuo e a vibração gerada pelas operações de perfuração geralmente não são alvo de reclamações. Se algum dano pessoal ou material ocorre, geralmente a população se mobiliza rapidamente contra a obra, ocorrendo inclusive interferências políticas, levando em casos extremos à interrupção das mesmas.

As ondas de choque geradas na água são extremamente perigosas para as embarcações e estruturas submersas, bem como mergulhadores próximos às áreas de detonação.

Para se prever os riscos a instalações e estruturas subaquáticas, De Raadt (JIMENO, 1995, pg.272) propôs a seguinte equação:

$$R_b (m) j = 1,5 \times Q^{1/3} \quad (kg); \quad \text{onde } Q = \text{Carga explosiva}$$

Para um dano ocorrer em uma certa distância, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$R_o (m) = FS \times R_b$ onde FS é o fator de segurança definido em função do tipo de estrutura ou objeto a ser protegido e sua respectiva profundidade, segundo a tabela 9:

Tabela 9:

Obtenção do fator de segurança FS

Construções	Fator de segurança
Pilares de pontes, construções em aço ou similares, para uma prof. de submersão de:	
6m	2 - 3
15m	3 - 4
Embarcações	
Incluindo balsas, embarcações de transporte de material, numa prof. de 15m e um calado de:	
1m	4 - 5
2m	5 - 8
4m	8 - 12
10m	12 - 18

Fonte: Jimeno, *Drilling and Blasting of rocks*, 1995.

Existe uma correlação entre a distância da detonação e os danos causados a pessoas que se encontrem na água próximas ao local da detonação, tal como mergulhadores. Essa correlação leva em conta a carga explosiva, que faz com que esta distância possa ser maior ou não, porém de acordo com o gráfico seguinte (figura 13), a mínima distância segura para pessoas que estão submersas é de 40 metros, a uma carga de 2 kg de explosivo por detonação. O primeiro tipo de dano considerado é o dano leve, seguido pelo risco de morte, e posteriormente a morte instantânea, pois como foi discutido acima, a propagação das ondas de choque na água se faz numa eficiência muito maior do que no ar, devido à incompressibilidade do líquido, e sua maior densidade.

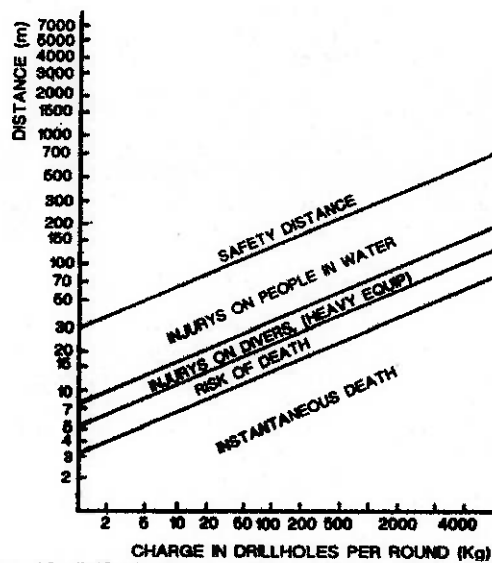


Figura 13: distância de segurança para desmontes subaquáticos
(fonte: Jimeno, Drilling and Blasting of Rocks, 1995)

8. Projetos futuros para a região do Alto Tietê

Para as próximas décadas já se prevê a execução de obras de médio e grande portes, incluindo a aplicação de soluções não convencionais, a atuação sobre as causas das inundações, e a convivência organizada da sociedade com chuvas intensas, sendo que esses dois últimos aspectos inserem-se no contexto das ações não estruturais. As obras de médio porte são representadas pelas canalizações, reservatórios de detenção nas sub-bacias dos córregos, inseridos no programa da Prefeitura Municipal de São Paulo. Espera-se dessas obras de detenção, efeitos positivos como os obtidos no "piscinão" do Pacaembú.

Dentre as obras de grande porte previstas para serem executadas citam-se as seguintes:

- A calha do rio Tietê deverá ser ampliada conforme projeto existente e as medidas propostas permitiriam que pelo Tietê, em Edgard de Souza, veiculassem em 2020 vazões de até $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$, cerca de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ superiores às máximas registradas nesse local. Os reflexos desse acréscimo no Médio Tietê, a jusante de Rasgão, poderiam ser controlados mantendo-se volume de espera no reservatório de Pirapora.
- Na bacia do rio Pinheiros prevê-se que, no futuro, as sub-bacias dos canais inferior e superior deverão produzir, respectivamente, "picos de cheia" da ordem de $670 \text{ m}^3/\text{s}$ e $290 \text{ m}^3/\text{s}$. Os canais atuais não proporcionam o adequado escoamento dessas cheias. As ampliações dos canais, da capacidade das elevatórias de Traição (280 para $350 \text{ m}^3/\text{s}$) e Pedreira (395 para $470 \text{ m}^3/\text{s}$) e o bombeamento de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ do canal inferior para o Tietê, permitiriam equacionamento satisfatório do controle de cheias, se baseados no projeto da Eletropaulo, de 1992.
- Maiores dificuldades são encontradas na bacia do Tamanduateí. Não há espaço para ampliação da calha no trecho canalizado. Os picos de cheia são, mesmo atualmente, superiores às vazões de dimensionamento do canal, uma vez que a urbanização da bacia ultrapassou as hipóteses adotadas no passado.

As obras cogitadas pelo DAEE, como os túneis de reversão e os reservatórios de detenção, ainda não propiciariam vazões compatíveis com a capacidade atual da calha. A solução proposta, como alternativa extrema no futuro, eficaz, mas de alto custo, seria a destinação de vazões excedentes de cheias para a Baixada Santista. Para tal, poderia ser utilizado o túnel Pedras-Perequê, que foi proposto para substituir os atuais sangradouros, impedidos de operar devido aos riscos de danos nas encostas da Serra do Mar. Este túnel foi projetado para descarregar no rio Perequê uma vazão máxima de $80 \text{ m}^3/\text{s}$. No planalto, o túnel Tamanduateí-Perequê poderia captar as cheias do Tamanduateí e amortecer seus picos. Trata-se de uma condição necessária no futuro, se as medidas propostas atualmente não forem implementadas. Trata-se de uma proposição que ainda deverá ser reavaliada e amplamente discutida no âmbito do Plano Metropolitano de Macrodrenagem, cotejando-se com as obras de contenção na própria bacia para manter a vazão do Tamanduateí, na confluência com o ribeirão dos Meninos, em valor não superior a $280 \text{ m}^3/\text{s}$.

9 . Conclusões

A região do Alto Tietê possui uma demanda crescente por escoamento das águas, em consequência do processo de urbanização que a região metropolitana de São Paulo vem sofrendo ao longo das décadas. Na atual conjuntura, dentro do conjunto de obras proposta pelo governo do estado, se encontra a do rebaixamento da calha, porém como este já corria no leito rochoso da região metropolitana, sua realização só foi possível devido à solução técnica encontrada: o uso do desmonte subaquático para seu rebaixamento. Descrito nos capítulos acima, o método se mostrou eficiente, e conseguiu aumentar a vazão do rio de 700 para 1180 m³/s, na altura da foz do Pinheiros; e de 840 para 1440 m³/s, na altura da barragem Edgard de Souza.

A operação de desmonte subaquático requer alto grau de especialização, tais como as operações especializadas para a superfície.

Concluiu-se que algumas condições deveriam ser satisfeitas para se obter êxito na operação:

- Razão de carga usualmente 3 a 6 vezes maior do que as detonações em superfície.
- Os resultados no desmonte primário deveriam ser satisfatórios, pois o desmonte secundário neste caso seria caro e difícil de se realizar.
- Os explosivos e acessórios de iniciação deveriam possuir boa resistência à água e à pressão hidrostática.
- Os distúrbios ambientais são mais notados, porque as vibrações possuem mais componentes de baixa frequência, e seu raio de ação é maior, havendo necessidade de maior controle.

Concluiu-se que os principais obstáculos encontrados ao longo da execução das obras foram:

- Dificuldade em se manter os furos abertos por um longo período.
- Dificuldade em se controlar a embocadura e os desvios de furação.
- Complexidade no planejamento e controle.

Conclui-se que em comparação aos outros métodos, este apresentou condições favoráveis para a perfuração e o carregamento à partir da superfície da embarcação, custos menores devido à não utilização de mergulhadores.

Por outro lado, a principal inconveniência foi o alto custo inicial dos equipamentos.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, P. A. **Palavra do leitor: Algo do Tietê**. - Revista Engenharia, São Paulo, SP, Ed. 544, 2001.
- JIMENO, C. L. **Drilling and blasting of rocks**, Madrid: Ed. Brookfield, 1995, p. 272.
- NOBREGA, M. A **História do Tietê**. São Paulo: Editora Tribunais, 1978.
- SASTRY, V.R., **Explosives & Blasting Technique**, Rotterdam: Ed. Holmberg, 2000, p. 359.
- SEM, G.C. **Blasting Technology**. New York: UNSW Press, 1995, p.108.
- RIO GRANDE DO SUL. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Simpósio internacional sobre gestão de recursos hídricos. Gramado, 1998.
Disponível em: <http://www.ufrgs.br/iph/simposio>. Acesso em 4 out. 2001.
- SÃO PAULO. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo, 2001.
Disponível em: http://www.comiteat.sp.gov.br/Download/relatorio_editado.pdf. Acesso em 10 out 2001.
- SÃO PAULO. Defesa Civil de SP. Ocorrências na operação verão. São Paulo, 2001.
Disponível em: <http://www.defesacivil.cmil.sp.gov.br/opverao>. Acesso em: 28 set. 2001.
- SÃO PAULO. Departamento de águas e energia elétrica – DAEE. Projeto de melhoria hidráulica do Rio Tietê. São Paulo, 1998.
Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/cultura/revista/raee9810/Projeto.html>. Acesso em 2 out. 2001.
- SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos. Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo, 2001.
Disponível em: <http://www.recursoshidricos.sp.gov.br/BReg6.htm>. Acesso em 10 out. 2001.
- SÃO PAULO. Sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê CBH-AT. São Paulo, 2001.
Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh CGI.exe/HPComites?Comite=CRH/CBH-AT>. Acesso em 4 out 2001.
- SÃO PAULO. Site do Governo do Estado de São Paulo. Infra-estrutura, Meio Ambiente, Ações. São Paulo, 2001.
Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/acoes/infra/meio.htm>. Acesso em 4 out. 2001.