



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

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

GRUPO – GIA

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS – GIA

RECUPERAÇÃO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DA UHE HENRY BORDEN E RESTABELECIMENTO DO SISTEMA HÍDRICO DO COMPLEXO TIETÊ – PINHEIROS – BILLINGS COM A MELHORIA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PINHEIROS

**Fernando José Moliterno (*)
EMAE**

**Marcelo Martins de Oliveira
EMAE**

RESUMO

Este trabalho apresenta uma síntese das ações e estudos desenvolvidos para restabelecer a capacidade instalada na UHE Henry Borden, no município de Cubatão – SP. Como o principal afluente do reservatório da Usina, o Rio Pinheiros, foi ao longo do tempo degradado com o lançamento de esgotos residenciais e industriais e na década de 90 foi proibido o lançamento de águas não tratadas para esta represa. Isto representou uma redução significativa de disponibilidade de geração (600 MW_{médios} para 128 MW_{médios}). Os impactos desta proibição vão além da geração de energia, atingindo as áreas social, ambiental e financeira.

PALAVRAS-CHAVE

Geração de energia, despoluição de rio, tratamento de água para grandes vazões, águas de uso múltiplo.

1.0 - INTRODUÇÃO

A história da energia elétrica nos centros urbanos de Rio de Janeiro e São Paulo foram estabelecidos pela São Paulo Light & Power Co., que desde 1889, quando se instalou no Brasil, iniciou uma jornada onde a visão de longo prazo foi ponto determinante para o crescimento industrial do país.

Em um destes empreendimentos visionários, a Light implantou um sistema de geração de energia com o aproveitamento dos principais rios do planalto paulista, alterando o sentido do curso do rio Pinheiros, armazenando estas águas no reservatório Billings e, com uma queda d'água de 720 m, gerar energia no pé da Serra do Mar, no município de Cubatão, onde foi implementada, a partir da década de 20, a Usina Henry Borden.

Para viabilizar o reservatório, com vazão suficiente para geração de 600 MW_{médios}, foram implementadas duas usinas para inverter o fluxo do rio Pinheiros e seus afluentes, além de transferir parte da vazão do rio Tietê: as usinas elevatórias de Traição e de Pedreira.

A Usina, com capacidade instalada de 889 MW, localizada estrategicamente para suprir a Baixada Santista e a 60 km da capital, com todo o sistema de transmissão e condição de recomposição em caso de blackout, desde sua implantação tem importância estratégica relevante ao sistema elétrico.

Com a densa ocupação da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, os rios da região sofreram com a falta de infraestrutura para tratamento de esgotos (residencial e comercial), utilizando córregos, rios e represas como destinatários destes efluentes sem tratamento. Uma consequência desta destinação indevida de esgotos foi o aumento significativo de poluição nos principais rios de RMSP (Tietê, Tamanduateí e Pinheiros).

(*) Av. Nossa Senhora do Sabará, n° 5.312 – Escritório 74 – CEP 04447 – 011 São Paulo, SP – Brasil
Tel: (+55 11) 5613 – 2301 – Fax: (+55 11) 5613 – 2320 – Email: fernando.moliterno@emae.com.br

A partir do início da década de 90 o Governo do Estado de São Paulo, proibiu o bombeamento das águas do rio Pinheiros para o reservatório Billings com a justificativa de assegurar a qualidade das águas neste reservatório, uma vez que, suas águas também são utilizadas para abastecimento e lazer, além de fazer parte do eco-sistema da Mata Atlântica.

Várias condições levaram a uma reanálise na proibição do bombeamento: aumento da cunha salina no rio Cubatão, enchentes na varzea do rio Pinheiros, aumento da quantidade de algas no reservatório Billings, etc. Curiosamente, a principal causa que motivou a proibição do bombeamento das águas do rio Pinheiros, a ocupação desestruturada, obrigou a uma revisão nesta proibição, pois com a impermeabilização das áreas da cidade de São Paulo nas várzeas dos rios, as enchentes passaram a ser um problema cuja solução para diminuição do nível de água nos canais em tempo reduzido passa pelo bombeamento do rio Pinheiros para o reservatório. Com as chuvas, a concentração de poluentes diminui, reduzindo o impacto no reservatório.

Assim, a proibição manteve-se, sendo permitido o bombeamento em condições pluviométricas determinadas para que seja estabelecido o equilíbrio entre controle de enchentes, diminuição da cunha salina no rio Cubatão, diminuição das algas na represa e outras consequências a que o sistema está sujeito em função da redução do fluxo de águas para o reservatório.

Ciente dos impactos da redução do fluxo para o reservatório, o Governo do Estado de São Paulo, a partir de 1997 estabeleceu um grupo com representantes das empresas de saneamento (SABESP), geração de energia e responsável pelo rio Pinheiros (Eletropaulo), da agência de controle ambiental do estado (CETESB), das secretarias de meio ambiente, recursos hídricos e de energia, para estudar soluções com a finalidade de restabelecer o bombeamento para o reservatório. Este empreendimento recebeu o nome de Projeto Billings.

Este projeto analisou vários sistemas de tratamento de água, não sendo tão simples chegar a um denominador comum, pois as restrições a implantação do projeto são significativas:

- Vazão de tratamento grande (da ordem de 65 m³/s)
- Região não possui áreas livres para implantar estações de tratamento da ordem de 65 m³/s
- Custo do processo (implantação e, principalmente, manutenção)

Em função destes parâmetros, a alternativa que apresentou melhores perspectivas para a equação de solução do problema foi a implantação de sistema de limpeza das águas no próprio corpo do rio Pinheiros, com a implantação de uma estação que aglutina a poluição, fazendo uma pasta de lodo, faz com que o lodo fique na superfície e, remova o lodo do corpo d'água para desidratação e destinação, com uma vazão de 50 m³/s.

Para isso, foi instalado um sistema piloto, para tratamento de 10m³/s, cujos dados foram usados para aprimorar e melhorar a concepção do projeto e está subsidiando o licenciamento do projeto de 50m³/s. Este sistema piloto funcionou entre 2007 e 2009, durante 30 meses. Foram testados sistemas de monitoramento, produtos químicos e métodos operacionais. Os resultados foram aplicados na revisão da concepção do projeto de estações para tratamento de 50m³/s. Nesta fase foram realizados monitoramentos de variáveis por entidades independentes, modelagem matemática da influência do lançamento das águas do rio Pinheiros na qualidade das águas dos reservatórios Billings e Guarapiranga, interferências e reflexos na captação de água para tratamento e abastecimento público.

Com base na experiência adquirida nos testes e no encaminhamento do processo, relatamos a seguir a evolução do projeto.

1.1 Contextualização do Projeto

Considerando a importância estratégica da usina de Henry Borden para o Sistema Elétrico e a possibilidade de melhorar as condições ambientais das águas do canal do rio Pinheiros, de forma que possam ser revertidas para o reservatório Billings, sem comprometer seu uso para abastecimento público e, portanto, atendendo às disposições legais, foi concebido o sistema de tratamento avaliado neste trabalho. A implantação do sistema completo, aliado a medidas complementares de controle de poluição, permitirá a reversão de 50 m³/s para o reservatório Billings e, conseqüentemente, um aumento médio de 280 MW na produção de energia na usina de Henry Borden.

O reservatório Billings tem suas águas classificadas como classe II e o rio Pinheiros, classe IV (o rio foi enquadrado como classe IV pelo Decreto Estadual nº 10.755), conforme Resolução CONAMA 357/2005 e CONAMA 397/2008.

Foi estabelecido como meta para o teste, o tratamento das águas do rio Pinheiros para atender ao padrão de lançamento em corpo d'água classe II.

1.2 Metodologia de Avaliação do Projeto Piloto

Para a avaliação dos impactos do sistema de flotação, o projeto foi desenvolvido em três frentes:

- Monitoramento do sistema hídrico composto pelos rios Tietê, Pinheiros e pelos reservatórios Billings e Guarapiranga, envolvendo tanto variáveis de qualidade de água como variáveis operacionais e climatológicas.
- Análises estatísticas das variáveis de qualidade da água monitoradas, abrangendo a análise da eficiência do sistema de tratamento e alterações na qualidade da água dos reservatórios Billings e Guarapiranga.
- Modelação matemática do reservatório Billings, com análise de diferentes cenários de vazões revertidas e níveis de tratamento.

2.0 - SISTEMA HIDRÁULICO

O sistema hidráulico onde está inserido o complexo Henry Borden, é composto por:

- Reservatório Billings – foi criado para suprir a Usina Henry Borden e, ao longo do tempo, passou a ser responsável, também, por abastecimento humano
- Reservatório Guarapiranga – utilizado para abastecimento
- Rio Pinheiros – principal afluente do reservatório Billings
- Rio Tietê – principal rio do Estado de São Paulo e corta a RMSP
- Rio Tamanduateí – principal afluente do rio Tietê na RMSP
- Usinas elevatórias de Traição e Pedreira – responsáveis pelo bombeamento do rio Pinheiros para o reservatório Billings
- Estrutura de Retiro – estrutura de seccionamento dos rios Pinheiros e Tietê

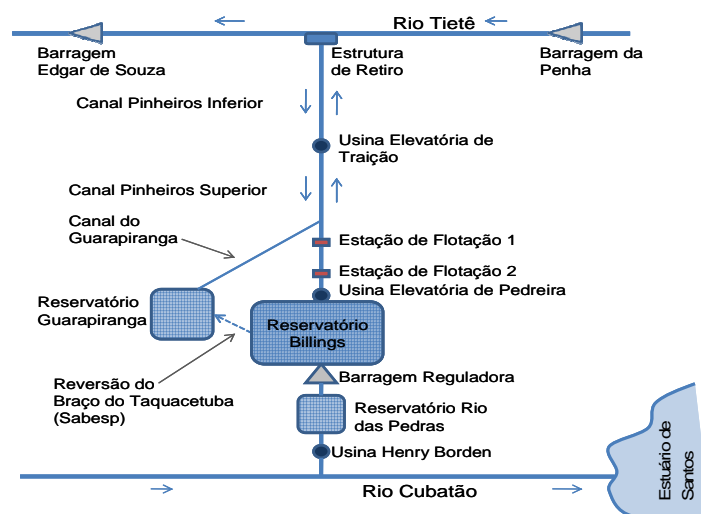


FIGURA 1 – Sistema Hidráulico do complexo Henry Borden

3.0 - O PROTOTIPO PARA FLOTAÇÃO DO RIO PINHEIROS

No caso do protótipo de flotação em teste no rio Pinheiros, foram utilizadas duas estações, denominadas E1 e E2, instaladas em dois trechos do canal. A primeira estação da flotação (E1) localiza-se no rio Pinheiros próxima à foz do córrego Zavuvus, a 4.070 m da Usina Elevatória de Pedreira. A segunda estação (E2), a jusante da estação E1, localiza-se a 770 m da Usina Elevatória de Pedreira. A localização das estações pode ser observada esquematicamente na Figura 1.

3.1 Descrição do sistema de tratamento

Em cada uma das estações de flotação, o processo de tratamento pode ser resumido nas etapas detalhadas na sequência.

- a. **Adição Química e Mistura Rápida** – Em um trecho do rio, na entrada da estação, é feita a adição de coagulante, cujo objetivo é desestabilizar as partículas que se encontram em suspensão. A dispersão do coagulante na massa líquida é feita por meio da injeção de ar comprimido, que produz bolhas grossas. A adição química e a injeção de ar são feitas a uma profundidade de 1,0 m, com a utilização de mangueiras presas a uma estrutura metálica. Os produtos químicos utilizados estocados em tanques de armazenagem. O ajuste da concentração de dosagem é feita por diluição com a própria água clarificada no processo, próximo ao ponto de dosagem. De todas as etapas do processo de flotação, a desestabilização das partículas é a mais crítica, pois caso ela não ocorra de maneira eficiente as demais etapas são comprometidas. Por isso, a dispersão do coagulante na massa líquida exige uma atenção especial, sendo que esta é afetada pelas condições hidráulicas do sistema e climatológicas da região, além das condições operacionais das barragens de Traição e Pedreira. Ressalta-se que o processo de mistura com a utilização de ar comprimido não é o convencional tendo sido utilizado como alternativa para as condições específicas do sistema implantado no rio Pinheiros.
- b. **Processo de Floculação** – Com as partículas desestabilizadas, é necessário fazer com que elas se aglomerem para permitir a sua separação da fase líquida por flotação com ar dissolvido. A aglomeração é obtida mediante uma mistura lenta da massa líquida, permitindo o movimento aleatório e a colisão entre as partículas, resultando na formação de flocos. A mistura lenta também é obtida pela adição de ar comprimido, com menor intensidade que na mistura rápida. Nesta etapa, a velocidade horizontal de escoamento deve respeitar intervalos específicos, para evitar a deposição dos aglomerados formados ou a sua quebra. Outro parâmetro importante no processo de floculação é o tempo, que deve variar entre 20 e 40 minutos.
- c. **Processo de Flotação** – O processo de flotação por ar dissolvido consiste em injetar no fundo, e ao longo de toda a extensão do canal, uma corrente líquida saturada com ar. Como a solubilidade do ar atmosférico na água é uma propriedade termodinâmica que depende da pressão e da temperatura, é possível saturar uma corrente líquida através de sua pressurização com o ar atmosférico. Para o processo de flotação do rio Pinheiros, uma fração da água clarificada, entre 8% a 10% da vazão do sistema, é submetida a um processo de pressurização com ar comprimido, pressão entre 4 e 5 atmosferas, no tanque de saturação. Nesta condição, uma parcela do ar acaba sendo dissolvida na massa líquida. Posteriormente, esta corrente saturada é distribuída ao longo da largura do canal do rio Pinheiros, também por meio de mangueiras, neste caso, dotadas de válvulas redutoras de pressão em suas extremidades. Quando a pressão da corrente saturada é reduzida para a pressão atmosférica, o ar que estava dissolvido na água dá origem a inúmeras microbolhas com movimento ascendente que ao se deslocarem interceptam e aderem aos flocos formados na etapa de floculação. Nesta condição, a densidade das partículas é reduzida, fazendo com que as partículas flitem para a superfície da água, promovendo assim a clarificação.
- d. **Remoção dos Sólidos Flotados** – Ao final do trecho da bacia de flotação, os flocos estão basicamente na superfície da água, formando um lodo de superfície, o qual é direcionado à estrutura de remoção, dotada de pás rotativas que conduz o lodo para o sistema de desidratação, para posterior disposição final. A água clarificada passa sob a estrutura de remoção de lodo pronta para ser bombeada e parte dessa água é encaminhada para o sistema de pressurização.
- e. **Adensamento e Desidratação do Lodo** – O lodo retirado é encaminhado a um tanque de homogenização, na margem do rio, sendo então bombeados para separadores centrífugos, onde ocorre a injeção de uma solução de polimérica para auxiliar o processo de separação de sólidos. Tipicamente um lodo com cerca de 2% de sólidos em massa entra na centrífuga e o lodo resultante, separado por centrifugação, terá um teor de sólidos em torno de 20 a 25% em massa. O lodo desidratado é transportado por caminhões basculantes para aterro construído ao lado da central de adensamento, para disposição do lodo gerado durante a realização dos ensaios. A área de disposição foi devidamente preparada para recebimento e confinamento do lodo produzido, sendo dotada de impermeabilização por manta de material polimérico, sendo que após os ensaios deverá ser feita a cobertura final do aterro.

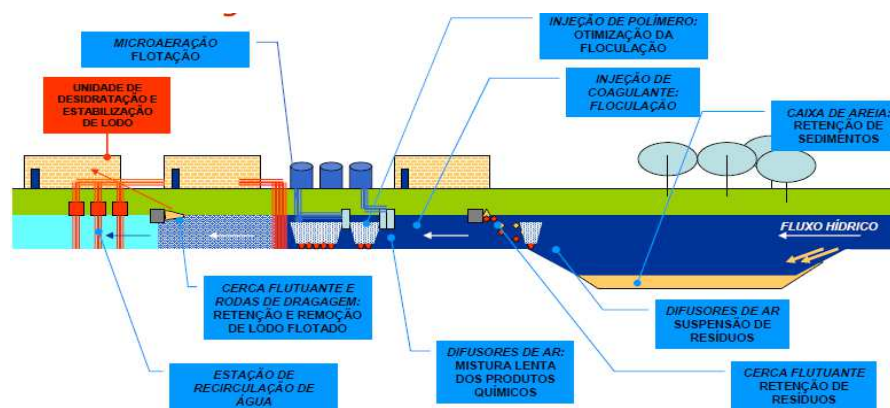


FIGURA 2 – Fluxograma de tratamento

3.2 Sistema de Monitoramento da Qualidade da Água

Para avaliação do processo de tratamento e da configuração projetada, foi instalado um sistema de monitoramento montado para acompanhamento dos testes. Inicialmente procedeu-se ao planejamento da campanha com a identificação física dos pontos de amostragem previstos, a verificação e a aquisição de equipamentos, o estabelecimento das variáveis de qualidade a serem monitorados e da rotina de coleta e análise de dados de campo, bem como o treinamento da equipe de campo.

O Plano de Monitoramento foi feito com duas vertentes importantes: o monitoramento hidrológico e o monitoramento de qualidade de água do sistema.

O monitoramento hidrológico foi conduzido a partir de estações de terra, e teve por finalidade o controle das entradas e saídas hídricas no reservatório Billings durante o teste.

Foram monitoradas 200 variáveis em 25 pontos e a frequência de amostragem proposta procurou garantir um intervalo compatível com o desenvolvimento do estudo, bem como reduzir os custos laboratoriais. Tanto os pontos de amostragem como as frequências foram otimizados durante o desenvolvimento do projeto.

Estes pontos foram divididos em cinco grandes conjuntos, relacionando os pontos aos corpos hídricos a quais esses pontos pertencem. No conjunto Tietê está compreendido apenas o ponto TIE (Ponte dos Remédios). No conjunto Pinheiros estão compreendidos os pontos P1 (montante da E1), P2 (jusante da E1), P3 (montante da E2), P4 (jusante da E2) e P4-A (Pedreira). Em todos os pontos localizados nos rios Pinheiros e Tietê ocorreram amostragens diárias. O conjunto Billings foi composto pelos pontos B1 (Anfiteatro), B2 (corpo central em frente ao Bororé), B3 (corpo central em frente ao Taquacetuba), B4 (Taquacetuba na captação da SABESP), B5 (corpo central em frente ao Rio Pequeno) e B6 (próximo à Barragem Reguladora Billings-Pedras). A amostragem nos pontos B1, B2 e B4 foi semanal e nos demais pontos foi mensal, em todos os pontos da Billings foram feitas coletas na superfície e no fundo. No conjunto Guarapiranga, os pontos G0, G1 e G2 foram submetidos à amostragem mensal e o ponto G3 à amostragem semanal. O conjunto ABV é composto apenas pelo ponto ABV (ETA Alto Boa Vista), cuja frequência de monitoramento foi semanal. A localização dos pontos é mostrada na Figura 3.

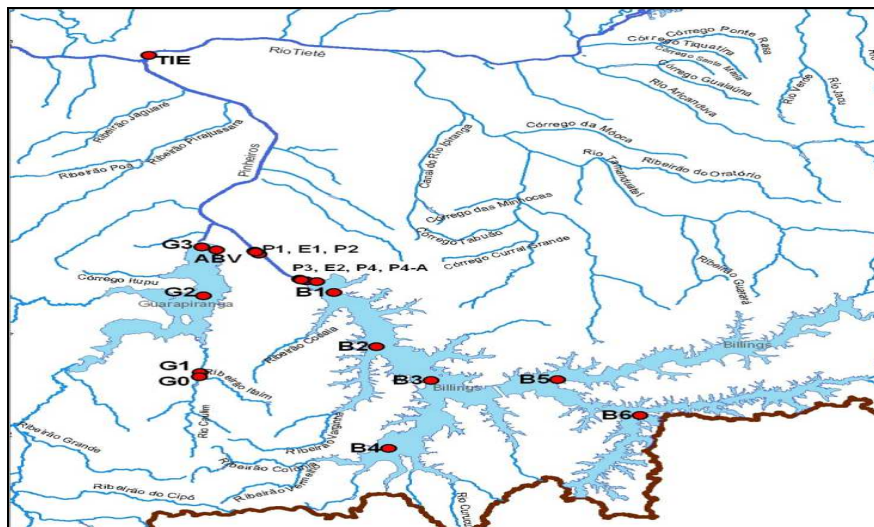


FIGURA 3 – Localização dos Pontos de Monitoramento

3.3 Análise da Eficiência do Tratamento do Rio Pinheiros por Flotação

Para a análise da eficiência na remoção de poluentes, foram selecionados os períodos em que o sistema da flotação funcionou continuamente por pelo menos seis dias, descontadas as primeiras 48 horas de funcionamento após cada novo acionamento do sistema. Considerando esse critério, fazem parte da avaliação os resultados das análises de amostras de 88 dias de operação para análise comparativa entre água bruta e água tratada no rio Pinheiros.

Para adequar a comparação dos resultados das coletas realizadas na entrada do sistema (ponto P1) com as da saída do sistema (ponto P4A), os dados de P1 foram defasados em um dia em relação aos dados de P4A. Isso se justifica pois, no processo de flotação, são necessárias cerca de 20 horas para a água bruta em P1 percorrer todo trecho do canal do Pinheiros entre as duas estações de flotação até chegar em P4A como água tratada.

Tabela 1 – Eficiência de Remoção de Poluentes com Operação Contínua do Protótipo da Flotação

Variável de qualidade	Valores médios		Variação P1-P4A	
	P1	P4A	Obtida	Esperada
Fósforo Total (mg/l)	0,586	0,05	- 91%	- 95,00%
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	24	20,6	- 14%	-
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	345.132	31.745	- 91%	- 99,90%
DBO (mg/l)	73	34	- 53%	- 71,00%
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	2,3	3,1	34%	-
Turbidez (UNT)	57	31	- 46%	- 91,00%

Um exame mais detalhado da Tabela 1 permite verificar que houve remoção significativa de fósforo total (91%), elemento de grande relevância para controle do processo de eutrofização do reservatório Billings.

Para a variável OD, foi verificado um aumento de 34% na sua concentração, entre os pontos P1 e P4A, indicando uma pequena melhoria neste trecho do rio.

4.0 - ADEQUAÇÕES DO SISTEMA PELA EXPERIÊNCIA OBTIDA NO PROTÓTIPO

O projeto originariamente concebido para limpeza do rio Pinheiros, estabeleceu a limpeza do rio Pinheiros com a implantação de 7 Estações de Flotação e Remoção de Efluentes distribuídas ao longo do rio e nos principais afluentes, conforme Figura 4:

- EFRF DE RETIRO – 40 m³/s
- EFRF DE TRAIÇÃO – 45 m³/s
- EFRF DE PEDREIRA – 50 m³/s
- EFRF DO JAGUARÉ – 1,05 m³/s
- EFRF DO PIRAJUSSARA – 2,10 m³/s
- EFRF DO MORRO DO S – 1,05 m³/s
- EFRF DO ZAVUVUS – 0,70 m³/s
- ESTAÇÃO DE MICROAERAÇÃO A JUSANTE DO CÓRREGO PIRAJUSSARA

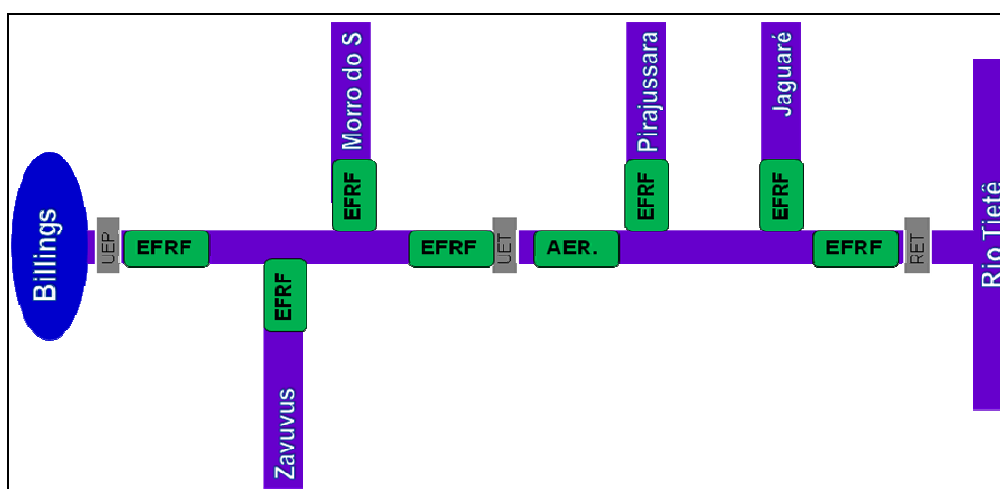


FIGURA 4 – Distribuição das Estações – Estudo de concepção inicial

A partir da evolução e maturação do projeto, foram propostas alterações, em relação ao projeto inicial, para diminuir custos, otimizar o processo e sanar algumas deficiências verificadas na conceituação do projeto, a

principal alteração foi a substituição da instalação de EFRFs nos principais córregos por instalações denominadas Tomadas de Tempo Seco – TTS. Esta substituição foi implantada considerando ganhos em implantação e operação:

➤ FASE DE IMPLANTAÇÃO:

- Impossibilidade física de implantação das EFRFs na foz dos córregos previstos (restrição de áreas disponíveis);
- Impactos negativos na vizinhança com a implantação de estruturas muito maiores e complexas;
- Elevação dos custos de forma a comprometer a viabilidade econômica (implantação de sete estações completas).

➤ FASE DE OPERAÇÃO:

- Dificuldade de acesso e armazenamento de produtos químicos nos locais dessas estações (impedimento de trânsito, congestionamento de vias de acesso, falta de espaço físico para sustentar todas as instalações);
- Impacto de vizinhança (ruído observado nas estações do teste, em função dos sopradores de ar acima dos limites estabelecidos pelas NBRs 10.001 e 10.002; odor gerado na bacia de lodo; alta intermitência dos níveis e vazões dos córregos);
- Elevação dos custos de forma a comprometer a viabilidade econômica (mão de obra operacional e alto consumo de produtos químicos).

As TTS são estruturas mais simples do que EFRF (e, conseqüentemente, muito mais baratas), pois tem a função de, nos períodos onde a vazão destes córregos são próximas as vazões de estiagem, as águas dos córregos são desviadas antes de chegarem ao rio Pinheiros, para um poço e, deste poço, bombeadas para uma das EFRF existentes.

Isto otimiza o processo, pois o fluxo de veículos, pessoas, produtos químicos, etc., gerado para uma EFRF é muito superior ao de uma TTS, que só terá o quadro para operação e proteção das instalações e a remoção de flutuantes por caminhões, em frequência semanal. A Figura 5 mostra esquematicamente a configuração final do sistema.

- EFRF DE RETIRO – 40 m³/s
- EFRF DE PEDREIRA – 50 m³/s
- TTS DO JAGUARÉ – 1,05 m³/s
- TTS DO PIRAJUSSARA – 2,10 m³/s
- TTS DO DRENO BROOKLIN – 3,25 m³/s
- TTS DO MORRO DO S – 1,05 m³/s
- TTS DO ZAVUVUS – 0,70 m³/s
- TTS DA PONTE BAIXA – 0,3 m³/s
- TTS DO PEDREIRA – 0,05 m³/s

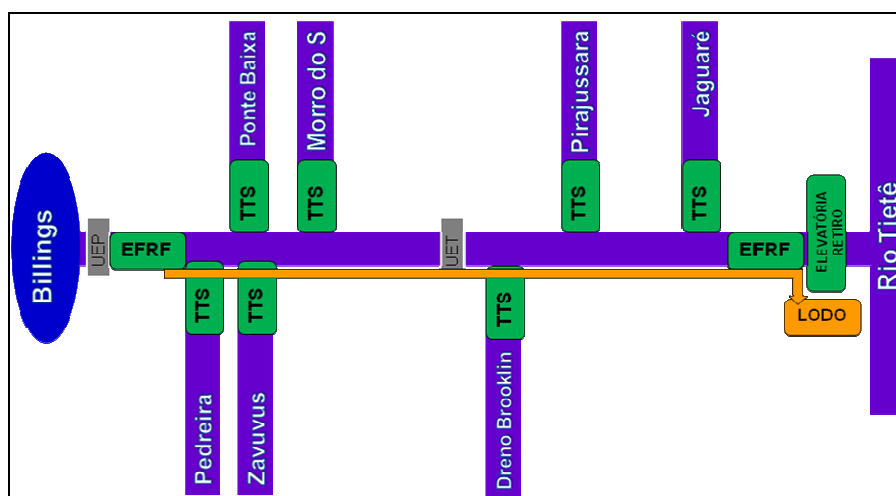


FIGURA 5 – Distribuição das Estações – resultado da maturação do projeto

5.0 - CONCLUSÃO

O interesse na recuperação da qualidade das águas do rio Pinheiros se justifica pela necessidade de uso múltiplo do complexo Tietê – Pinheiros – Billings. Dentre os benefícios tangíveis e intangíveis deste projeto, podemos citar:

- Interesse energético do uso da água do rio Pinheiros – sem bombeamento para represa Billings, a energia da água está sendo desperdiçada, pois não há usinas para aproveitamento no rio Tietê;
- Restabelecimento parcial da capacidade de geração de energia UHE Henry Borden;
- Melhoria da hidrodinâmica do reservatório Billings em função do fluxo constante de água;
- Aumento da disponibilidade hídrica para abastecimento e consumo público;
- Melhoria da condição das águas para prática de esportes aquáticos na represa;
- Socialização da cidade com o leito do rio Pinheiros (pela redução no odor e na criação de mosquitos);
- Aproveitamento das áreas marginais do rio Pinheiros para implantação de parques e áreas de lazer;
- Tratamento de carga considerável de esgotos (lançados no rio Tietê e nos córregos) com custos subsidiados pelo aumento da receita com geração de energia elétrica;
- Aumento da disponibilidade de água doce no rio Cubatão;
- Melhoria da condição das águas afluentes da Estação de Tratamento de Águas no rio Cubatão;
- Diminuição da carga poluidora do rio Tietê a jusante do rio Pinheiros, melhorando a qualidade de vida nas cidades banhadas pelo rio Tietê.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) São Paulo, Constituição do Estado de São Paulo, 1989 [on line]. Disponível em: <http://www.legislacao.sp.gov.br/dg280202.nsf/a2dc3f553380ee0f83256cfb00501463/46e2576658b1c52903256d63004f305a?OpenDocument>
- (2) EMAE Empresa Metropolitana de Águas e Energia, “O Complexo de Geração Henry Borden”, 2008 [on line]. Disponível em: www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/Billings/O_que_e_flotacao
- (3) A. James et al., An Introduction to Water Quality Modelling, 2nd. Ed., John Wiley & Sons Ltd., 1993, p. 324.
- (4) C. R. Fragoso Jr, C. E. M. Tucci, W. Collischonn, and D. M. L. M. Marques, “Simulação de Eutrofização em Lagos Rasos: I - Modelo e Precisão Numérica”, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, p. 23-35, 2007.
- (5) C. R. Fragoso Jr, C. E. M. Tucci, W. Collischonn, and D. M. L. M. Marques, “Simulação de Eutrofização em Lagos Rasos: II – Sistema do Taim (RS)”, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, p. 23-35, 2007.