



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-AMBIENTAL
DA OPERAÇÃO DO SISTEMA ELEVATÓRIO TIETÊ-BILLINGS
NO SUPRIMENTO DE ÁGUA E ELETRICIDADE NA
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

LUIZ MARTINS

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear - Materiais.**

**Orientadora:
Profa. Dra. Denise Alves Fungaro**

**São Paulo
2010**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Perfeição e Domínio dentro do coração de cada Homem. Fonte da Vida e Doador de Tudo. Sua Graça me concedeu a benção por meio de Mestres, Amigos e Família, ao iluminar o meu caminho.

À Professora Doutora Denise Alves Fungaro pela dedicação e orientação que me permitiu vislumbrar os passos a serem dados.

Ao Professor Doutor Nelson Leon Meldonian sempre disponível com palavras de entusiasmo e sabedoria.

Ao corpo docente do IPEN, extremamente competente e profissional ao transferir o saber na pessoa dos doutores, Dr. Afonso Rodrigues de Aquino, Dr. Alberto Saburo Todo, Dr. Antonio Carlos de Oliveira Barroso, Dr. Arnaldo Andrade, Dra. Elisabete Inácio Santiago, Dr. José Mestnik, Dr. Marcelo Linardi, Dr. Paulo Henrique Ferraz Masotti, Dr. Roberto Navarro de Mesquita, Dr. Thadeu das Neves Conti.

Ao corpo técnico da EMAE, na pessoa do Dr. Márcio Nestor Zancheta, Eng. Jacek Polakiewics, Eng. Carlos Roberto Pereira que me assessoraram com sua larga experiência e me disponibilizaram dados técnicos em primeira mão.

Aos amigos e colegas, Dra. Dora de Castro Rubio Poli, Dra. Sônia Regina Silvia Queiroz, Dr. Nelson Martins, Dr. Hélio Akira Furusawa, Dr. Zoroastro de Miranda Boari, Cleiton Cunha Barbosa, Gustavo Souza Afonso, Robson Gouveia, que me suportaram no esclarecimento das minhas angústias e dúvidas.

À minha família, esposa Cheila e os filhos Alessandra e Ricardo, por seu carinho e apoio.

Análise da viabilidade técnico-econômico-ambiental da operação do sistema elevatório Tietê-Billings no suprimento de água e eletricidade na Região Metropolitana de São Paulo

Luiz Martins

RESUMO

O presente estudo analisa a água da bacia do alto Tietê, tanto como insumo na forma de água potável produzido em oito Estações de Tratamento de Água (ETA), quanto insumo na forma de energia hidráulica, ou ainda, como água residuária gerada por diferentes atividades de origem antrópica. O maior problema desta bacia é a água residuária que é lançada nos rio Tietê e Pinheiros devido ao déficit de 32,41 m³/s (2008) no tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) o qual produz uma carga poluidora de 920 mil kg de DBO/dia.

As águas urbanas que passam pelo canal do rio Pinheiros no período de cheias e de seca têm o mesmo destino que é o reservatório Billings. No entanto, os atos institucionais que permitem a operação de bombeamento da água para o reservatório são distintos.

O primeiro caso ocorre pela ação de controle de cheia da RMSP e está apoiada na Resolução Conjunta de Secretarias de Estado de São Paulo (SEE- SMA-SRHSO em 13/03/96) que permite o bombeamento das águas nas seguintes situações de emergência: (1) previsão de vazão do rio Tietê no ponto de sua confluência com o rio Pinheiros, acima de 160 m³/s. (2) sobrelevação superior a 30 cm de nível d'água na confluência com o rio Pinheiros.

No segundo caso, a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) propôs o Projeto Flotação à Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA, 2004) para

tratar 10 m³/s de águas originárias do canal de Pinheiros (set/2007 a set/2008) por meio da tecnologia de Flotação em Fluxo.

Usando-se como base em informações do Plano de Tratamento de Esgoto para a grande São Paulo (SANEGRAN) e dados da operação do protótipo de flotação do Sistema Pinheiros-Billings (Projeto QAPB), concluiu-se que o impacto ambiental causado no reservatório Billings pela carga de poluentes (massa por segundo) bombeada após a flotação da água do rio Pinheiros foi sempre menor do que aquela observada na operação controle de cheias.

O tratamento por flotação apresentou remoção de 91% para o fósforo total, 90% para o *E.coli*, 53% para a matéria orgânica e 14% para o nitrogênio amoniacal. Observou-se um aumento de 34% para o oxigênio e uma diminuição de 46% na turbidez. A análise da viabilidade técnica da operação do Sistema Elevatório Tietê-Billings realizada pelo Método AHP-Analitic Hierarchy Process, demonstrou que 65,62% da água que entra no reservatório Billings pode ser utilizada para gerar energia elétrica, enquanto que 34,38% desta água pode ser utilizada no abastecimento da RMSP.

O estudo da viabilidade econômica comparou o custo do processo flotação com o custo de aporte de água proveniente de outros mananciais e demonstrou que o custo da operação de flotação das águas do rio Pinheiros para servir ao abastecimento da RMSP é economicamente viável.

Analysis of technical feasibility, economic and environmental operation of the lift system Tietê-Billings in the supply of water and electricity in the metropolitan region of São Paulo

Luiz Martins

ABSTRACT

This study examines the characteristics of the water from the upper Tietê, as an input in the form of drinking water produced in eight stations, water treatment plant (WTP), an input for hydropower generation and wastewater generated by different anthropogenic activities. The most important problem of this basin is the wastewater that is released in the Pinheiros river and due to the deficit of 32.41 m³/s (2008) in the treatment of sewage in the metropolitan region of São Paulo ("RMSP") which produces one pollutant load of 920 thousand kilograms of BOD per day.

The Pinheiros river's flow during the floods and drought has the same destination, the Billings reservoir. However, the legislation for floods and drought periods are different.

The first case - floods occurs by the action of full control of the metropolitan region and is supported by the Joint Resolution of Secretaries of State of Sao Paulo (SEE-SMA-SRHSO on 13/03/96) that allows the pumping of water in the following emergencies: (1) estimates of flow of the Tietê river at the point of its confluence with the river Pinheiros, above 160 m³/ s; (2) raised level above 30 cm water level at the confluence with the river Pinheiros.

The second case - drought, the Metropolitan Company for Water and Energy (EMAE) Project proposed flotation of the Secretary of State for the Environment (SMA, 2004) to treat 10 m³/s water originating channel Pinheiros (set/2007 the set / 2008) by means of flotation technology in flow.

Using information based on Environmental Sanitation Great São Paulo (SANEGRAN) and data from the operation of the prototype flotation system Pinheiros-Billings (Project QAPB), concluded that the environmental impact of the reservoir Billings for the load of pollutants (mass per second) pumped after the flotation of the Pinheiros river water was always lower than that observed in the flood control operation.

The treatment presented by flotation removal of 91% for total phosphorus, 90% for E. coli, 53% for organic matter and 14% for ammonia nitrogen. There was an increase of 34% for oxygen and a decrease of 46% in turbidity. The analysis of the technical operation of the lift system Tietê-Billings, held in the AHP-Analytic Hierarchy Process, showed that 65.62% of the water entering the reservoir Billings can be used to generate electricity, while 34.38% this water can be used to supply the "RMSP".

The feasibility study compared the economic cost of the flotation process with the cost of input of water from other sources and concluded that the cost of the flotation of the waters of the Pinheiros river to serve the supply of the metropolitan region is economically viable.

SUMÁRIO

	Página
1- INTRODUÇÃO	16
2- OBJETIVOS	18
3- REVISÃO LITERÁRIA	19
3.1 Água: fonte de Vida	19
3.2 Água: fonte de Energia Hidráulica	21
3.3 Água: Gestão dos Recursos Hídricos	23
3.4 Água: Parâmetros Indicadores de Controle de Qualidade	25
3.4.1 Índice de Qualidade das Águas	26
3.4.2 Índice de Qualidade das Águas Brutas	30
3.4.3 Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática	34
3.4.4 Índice de Balneabilidade (IB)	34
3.5 Classe de Água	35
3.6 Água Potável	41
3.6.1 Planejamento	41
3.6.2 Demanda de Água	45
3.6.3 Sistema Produtor	45
3.6.4 Macrografia	46
3.6.4.1 Bacia Piracicaba/Capivari/Jundiaí	47
3.6.4.2 Bacia do Alto Tietê	47
3.6.4.3 Bacia da Baixada Santista	48
3.7 Rio Tietê	49
3.7.1 Calha do rio Tietê	50
3.7.2 Precipitação intensa na RMS	51
3.8 Rio Pinheiros	54
3.8.1 Visão Unifilar do Sistema Tietê-Billings	56
3.9 Bacia Hidrográfica da Billings	58
3.9.1 Ocupação da Bacia da Billings	59
3.10 Água Residuária	61

3.10.1	Esgotamento Sanitário da RMSP	61
3.10.2	O Sistema Coletor de Esgoto da RMSP	61
3.10.2.1	Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	63
3.10.3	Tratamento de água residuária	65
3.10.3.1	Tratamento convencional	65
3.10.3.2	Tratamento por flotação	68
3.10.4	Projeto Tietê	68
3.11	Projeto de Flotação	70
3.11.1	Projeto QAPB: Avaliação da operação do protótipo de flotação do sistema Pinheiros-Billings	71
3.11.2	Processo de flotação	72
3.11.2.1	Etapas do processo	72
3.11.2.2	Parâmetros de eficiência do tratamento	72
3.11.2.3	Volume bombeado para o reservatório Billings	72
3.12	Energia	73
3.12.1	Energia Elétrica no BRASIL	73
3.12.2	Crise da Energia Elétrica	77
3.12.3	Energia Elétrica na Cidade de São Paulo	78
3.12.4	Usina Henty Borden	79
3.12.5	Energia Elétrica no Estado de São Paulo	80
3.12.6	Usinas no rio Tietê	81
3.12.7	Cenário do rio Tietê	82
4-	METODOLOGIA	84
4.1	Método AHP - Analitic Hierarchy Process	85
4.2	Projeto QAPB: Avaliação da operação do protótipo de flotação do sistema Pinheiros-Billings	90
4.2.1	O funcionamento	91
4.2.2	Sistema de Monitoramento	92
5-	RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
5.1	Viabilidade Ambiental da operação de flotação	93
5.2	Viabilidade Técnica da operação de bombeamento	96
5.2.1	Definição das características	96
5.2.2	Formação da matriz comparação de característica	97

5.2.3	Cálculo do vetor e norma de cada característica	98
5.2.4	Cálculo da média da característica em cada "USO"	99
5.2.5	Determinação do objetivo	101
5.3	Viabilidade Econômica da operação de flotação	102
6-	CONCLUSÕES	105
7-	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Presença da água em órgão-tecido	20
TABELA 2	Presença de água nos líquidos orgânicos	21
TABELA 3	Classificação do IQA	30
TABELA 4	Limite Inferior (LI) e Limite Superior (LS) de ST e SO	32
TABELA 5	Taxação do número de células de cianobactérias	32
TABELA 6	Classificação do IAP	33
TABELA 7	Classificação do IVA	34
TABELA 8	Índice de Balneabilidade	35
TABELA 9	Sistema Produtor e ETA	45
TABELA 10	Chuvas de 24 horas na RMSP para diversas TR	52
TABELA 11	Cenário de vazão no rio Tietê	53
TABELA 12	Parâmetros físico-químico-microbiológico obtidos a partir de amostras na estrutura de Retiro em 2007	54
TABELA 13	Municípios inseridos na Bacia da Billings	59
TABELA 14	Capacidade Nominal e Vazão Tratada	62
TABELA 15	Revisão de Plano Diretor de Esgoto para a RMSP	63
TABELA 16	Planejamento de ampliação da capacidade dos Sistemas Integrado e Isolado	65
TABELA 17	Evolução dos Indicadores	76
TABELA 18	Vazões turbinadas na Usina Henry Borden nos períodos de 1939-1991 e 1993-2000	80
TABELA 19	Usinas no rio Tietê	82
TABELA 20	Escala proposta por Saaty	87
TABELA 21	Valores de <i>IR</i> em função da ordem “n” da matriz	89
TABELA 22	Eficiência de remoção de poluentes com operação do protótipo de flotação	96
TABELA 23	Matriz de Comparação de Característica	97
TABELA 24	K1 Qualidade de água na Billings	98
TABELA 25	K2 Flotação	98
TABELA 26	K3 Quantidade de água na Foz do rio Pinheiros	99
TABELA 27	K4 Receita da operação de flotação	99

TABELA 28	K5 Importância sócio-ambiental	99
TABELA 29	Média da característica: Qualidade de água na Billings	99
TABELA 30	Média da característica: Flotação	99
TABELA 31	Média da característica: Quantidade de água na Foz do rio Pinheiros	100
TABELA 32	Média da característica: Receita da operação de flotação	100
TABELA 33	Média da característica: Importância sócio-ambiental	100
TABELA 34	Matriz: Peso dos Usos para cada característica (W_{ij})	100
TABELA 35	Normalização das características (TAB. 23)	100
TABELA 36	Autovetor ``T`` das características	101
TABELA 37	Alternativa de Abastecimento da RMSP por Mananciais	103

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Serra do Mar em Cubatão	22
FIGURA 2	Curvas Individuais dos componentes do IQA	28
FIGURA 3	Curva de qualidade padrão para as variáveis do ISTO (ST E SO)	31
FIGURA 4	Curva da dinâmica da população – Curva de Logística	42
FIGURA 5	Projeções Demográficas para a RMSP	43
FIGURA 6	Mananciais da RMSP	44
FIGURA 7	ETA Guaraú	46
FIGURA 8	Macrobaçia: Piracicaba, Alto Tietê e Baixada Santista	46
FIGURA 9	Dados da Nascente do Rio Tietê	49
FIGURA 10	Visão do Sistema Tietê-Billings	58
FIGURA 11	Vista do Reservatório Billings	60
FIGURA 12	Sistema Coletor da RMSP	62
FIGURA 13	ETE Barueri	64
FIGURA 14	Operação do protótipo em flotação e controle de cheia	73
FIGURA 15	Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) per capita	76
FIGURA 16	O Caminho das Águas	83
FIGURA 17	Aplicação do Método AHP à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo "Offshore"	86
FIGURA 18	Esquema do processo de flotação do rio Pinheiros	91
FIGURA 19	Pontos Sistema Monitoramento	92
FIGURA 20	Taxa de bombeamento de carga de poluentes (massa por segundo) para o reservatório Billings durante a flotação e controle de cheias	95
FIGURA 21	Cenários tendencial e dirigido de demanda de água (m ³ /s)	102

ABREVIações

AHP - Analitic Hierarchy Process

ANA - Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CBEE - Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial

CEF - Caixa Econômica Federal

CEPT - Chemically Enhanced Primary Treatment

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

E.Coli - Escherichia coli

ECO-92 - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992)

EFRF - Estação de Flotação e Remoção de Fluentes

EIA - Estudo do Impacto Ambiental

EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ETA - Estação de Tratamento de Água

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

FUSP - Fundação Universidade de São Paulo

IAG - Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo

IAP - Índice de Qualidade de Águas Brutas para fins de Abastecimento Público

IB - Índice de Balneabilidade

IET (CL) - Índice do Estado Trófico para a clorofila– a

IET(PT) - Índice do Estado Trófico para o fósforo
IQA - Índice de Qualidade das Águas
ISA - Instituto Sócio Ambiental
ISTO - Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
IVA - Índice de Preservação da Vida Aquática
JICA - Japan International Cooperation Agency
MIT - Massachusetts Institute of Technology
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NMP –Número Mais Provável
NSF - National Science Foundation
OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development
OIE - Oferta Interna de Energia
OIEE - Oferta Interna de Energia Elétrica
OMS - Organização Mundial de Saúde
PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDMAT - Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê
PIB - Produto Interno Bruto
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
POPs - Poluentes Orgânicos Persistentes
PPP - Parceria Pública Privada
QAPB - Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
RMC - Região Metropolitana de Campinas
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEGRA - Saneamento para a Grande São Paulo
SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SEE - Secretaria de Estado de Energia
SES - Secretaria de Energia e Saneamento
SMA - Secretaria do Meio Ambiente
SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SO - substâncias que alteram a qualidade organoléptica da água

SRH - Secretaria de Recursos Hídricos

SRHSO - Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras

ST - substâncias tóxicas

STP - Sistema Toyota de Produção

TCU - Tribunal de Contas de União

THM - trihalometanos

TPA - Tratamento Primário Avançado

UGRHI-05 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - 05

UHB - Usina Hidrelétrica Henry Borden

UNT- Unidade Nefelométrica de Turbidez

1- INTRODUÇÃO

A crescente conscientização para preservar os recursos naturais objetivando a valorização da qualidade de vida e a percepção de que está em jogo a própria sobrevivência do homem foram enfatizadas pelo Relatório Brundtland, em 1987, conhecido como NOSSO FUTURO COMUM, quando difundiu o conceito de desenvolvimento sustentável. Este conceito, diz que “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”.

Este documento chamou a atenção do mundo a três princípios essenciais: desenvolvimento econômico, proteção ambiental e equidade social. Este relatório foi decisivo para que a Assembléia Geral das Nações Unidas convocasse a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, realizada no Rio de Janeiro em 1992, essa conferência tornou-se conhecida como Rio 92 ou ECO-92.

Em São Paulo, foi em setembro de 1990, um programa da Rádio Eldorado motivou os cidadãos e as instituições a pressionar o governo para a necessidade da despoluição do Rio Tietê ao colherem mais de 1,2 milhões de assinaturas, o maior abaixo-assinado para uma causa ambientalista já ocorrido no país.

Este acontecimento levou o Governador Fleury a estabelecer um programa de despoluição do rio, por meio da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Este projeto teve intensa participação da sociedade civil e recebeu o nome de Projeto Tietê.

A fonte desses acontecimentos foi o crescimento acelerado da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) na última metade do século XX, que apresentou um forte desequilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental para o ser humano e o ecossistema como um todo. Tal fato revelou um descompasso da administração pública entre a gestão de realização imediata (ação sobre efeitos de impactos ambientais) e a gestão utilizando-se do planejamento estratégico urbano que envolve segundo Tucci (2005): urbanização,

ocupação do solo, infra-estrutura das águas; abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, águas pluviais e os aspectos de saúde.

As águas urbanas que passam pelo canal do rio Pinheiros no período de cheias e de seca têm o mesmo destino que é o reservatório Billings. No entanto, os atos institucionais que permitem a operação de bombeamento são distintos.

O primeiro caso ocorre pela ação de controle de cheia da RMSP e está apoiada na Resolução Conjunta de Secretarias de Estado de São Paulo (SEE-SMA-SRHSO em 13/03/96) que permite o bombeamento das águas nas seguintes situações de emergência: I - previsão de vazão do rio Tietê no ponto de sua confluência com o rio Pinheiros, acima de 160 m³/s. II- sobrelevação superior a 30 cm de nível d'água na confluência com o rio Pinheiros.

No segundo caso, a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) propôs o Projeto Flotação à Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA, 2004) para tratar 10 m³/s de águas originárias do canal de Pinheiros (set/2007 a set/2008) por meio da tecnologia de flotação em fluxo.

O sistema de tratamento é objeto de licenciamento pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e quando já obtida a licença de operação, o Projeto de Flotação irá tratar 50 m³/s.

O presente trabalho envolveu o conceito de desenvolvimento sustentável ao analisar a viabilidade técnico-econômica-ambiental do suprimento de água para o abastecimento e para a geração de energia para a Região Metropolitana de São Paulo.

A motivação deste estudo está na busca de uma condição de equilíbrio, entre a prioridade dada à água pelo setor ambientalista e o valor energético da água para o setor desenvolvimentista.

2-OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é analisar a variável água nos elementos naturais (rios Tietê e Pinheiros) e nos elementos de construção antrópica (Estação de Tratamento de Água (ETA) e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a qual pode impactar pela quantidade e qualidade a operação do sistema elevatório Tietê-Billings.

Objetivos específicos

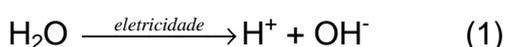
- a) analisar a questão do impacto ambiental que ocorre no reservatório Billings, considerando a operação de bombeamento;
- b) analisar a viabilidade técnica e econômica da operação do Sistema Elevatório Tietê-Billings quanto a sua capacidade de fornecer água para o abastecimento da RMSP e água para a geração de energia elétrica pela Usina Henry Borden.

3- REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Água: fonte de Vida

A água, enquanto recurso natural realiza três funções ambientais básicas segundo Pearce apud Nascimento (2005), que são: fornece insumo ao sistema produtivo, assimila resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica, provê utilidades estéticas e de lazer. Ademais para Nascimento, a água é recurso essencial à vida humana, desempenha um papel fundamental de substrato à vida em diferentes ecossistemas e, por meio do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global, é elemento essencial para a regulação climática do Planeta.

A água é a substância indispensável em todo o ciclo de vida vegetal, animal e humano, sendo o veículo para a formação de substâncias químicas ao agir como solvente em meio ácido ou básico, favorecendo as reações de óxido-redução. A água como substância pura é neutra, com pH=7, que se dissocia em íons H^+ e OH^- segundo a equação (1):



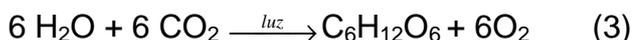
A água torna-se um excelente condutor de eletricidade, cujo potencial de redução, E^0 varia de +0,3 Volts (água aerada) até -0,6 Volts (água com pouco ar).

O caráter óxido - redutor é dado pela equação:



Pelo Princípio de Le Chatelier, ao aumentar a acidez (H^+) na água, o equilíbrio se desloca no sentido da formação de H_2O , diminuindo o teor (quantidade) de oxigênio dissolvido na água conveniente para reduzir os microrganismos patogênicos.

Na vida vegetal e em alguns microrganismos que contém cloroplastos (pigmentos de clorofila) ocorre fotossíntese com a produção de glicose, esses produtores de energia bioquímica na biosfera necessitam de: água, gás carbônico e energia solar (luz) conforme mostra a equação 3, a partir do processo:



Nos sistemas vivos, a água participa em diferentes proporções, variando de 97% nas medusas até 50% nos esporos de bactérias.

A água nos seres humanos apresenta maior percentual em massa nos recém-nascidos, reduzindo este percentual com a velhice. Ela participa em diferentes processos do metabolismo celular, como na hidrólise enzimática ou na desidratação.

A importância da água no ser humano é caracterizada pela sua participação em órgão-tecido, na TAB 1 e nos líquidos orgânicos, na TAB 2, apresentadas a seguir:

TABELA 1- Presença da água em órgão-tecido

Órgão	% em massa	Tecido	% em massa
Baço	80	Conjuntivo	60
Coração	77	Tubo digestivo	78
Fígado	73	Substância branca	70
Pâncreas	75	Substância cinza	85
Pulmões	80		
Rins	80		

Fonte: Leão, 1982

TABELA 2- Presença de água nos líquidos orgânicos

Líquidos orgânicos	% em massa
Saliva	99,5
Suco gástrico	99,4
Suco pancreático	98,7
Humor aquoso	98,5
Líquido cérebro raquidiano	98,5
Bile	97,5
Linha	96
Sangue total	80

Fonte: Leão, 1982

3.2 Água: fonte de Energia Hidráulica

Quando se dispõe ou se constrói um reservatório com um grande volume de água, na ordem de bilhões de m^3 , apresentando o mesmo um desnível entre duas posições (A) e (B), essa água poderá ser utilizada como fonte de energia hidráulica (FIG. 1).

Pelo princípio da conservação de energia, a energia mecânica do sistema na posição (A) e na posição (B) se conservam. Pode-se dizer então, que a energia mecânica (E_M) formada pela soma da energia potencial (E_p) com a energia cinética (E_c), pode ser representada pela equação:

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2} = E_M = \text{cte} \quad (4)$$

onde: E_{c1} e E_{c2} = energia cinética na posição (A) e (B), respectivamente, e

E_{p1} e E_{p2} = energia potencial na posição (A) e (B), respectivamente.

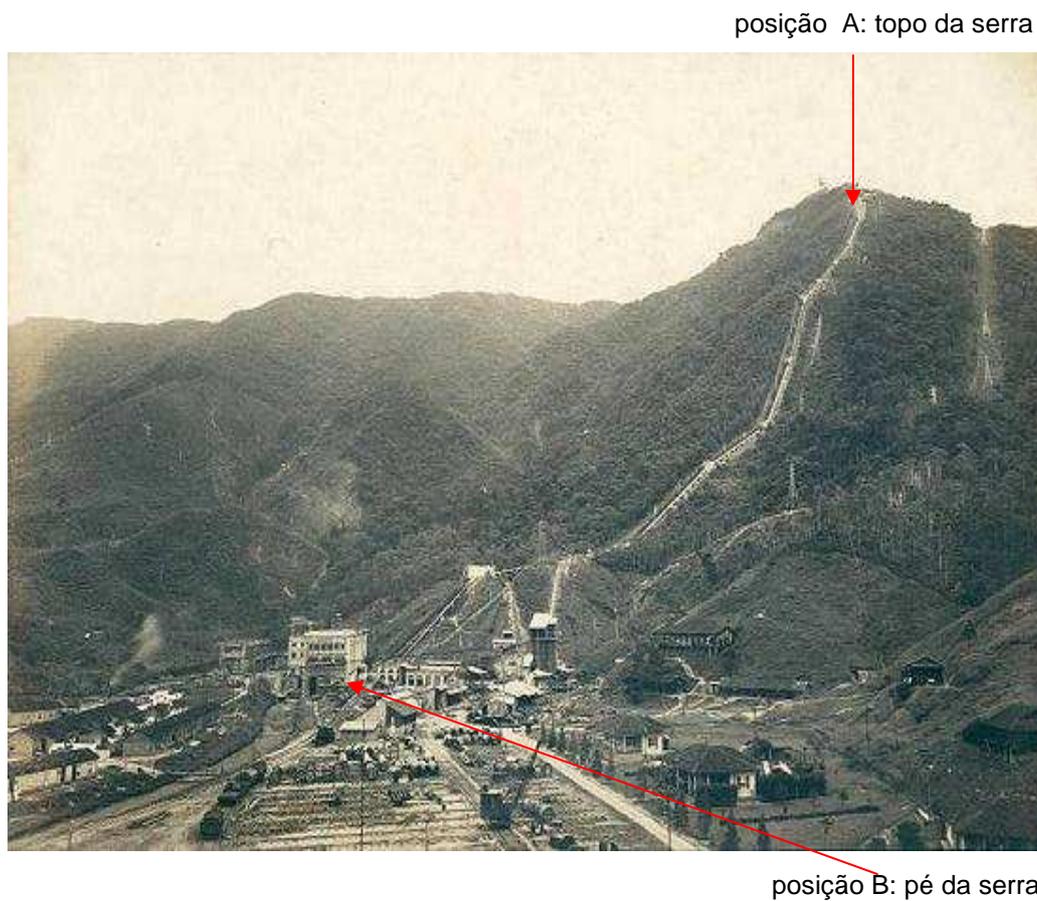


FIGURA 1-Serra do Mar em Cubatão
Fonte: Arlindo Ferreira (Novo Milênio)

Fazendo-se o cálculo da energia potencial da Usina Henry Borden pelo princípio da conservação de energia mecânica, tem-se:

Sendo:

E_{c1} e E_{c2} = energia cinética na posição A e B, respectivamente.

E_{p1} e E_{p2} = energia potencial na posição A e B, respectivamente.

Considerando, portanto a transformação potencial em cinética sem dissipação de calor por atrito, nas condições, vide FIG1:

Na posição "B" final, tem-se $E_{p2}=0$

Na posição "A" inicial, tem-se $E_{c1}=0$

Então: $E_{p1} = E_{c2} = E_M$ (5)

Sendo $E_M = m.g. \Delta h$ (6)

As condições para plena carga da Usina Henry Borden, são:

Considerando-se a vazão $\Delta Q = \frac{\Delta V}{\Delta T} \rightarrow \Delta V = 157 m^3 \rightarrow \Delta m = 157.000 kg$,

com queda de água $\Delta h = 720 m$ e $g = 9,8 m/s^2$

Então, resulta $E_M = (157.000) \cdot (9,8) \cdot (720) = 1.107.792.000 W$ (Potencial Mecânico).

De acordo com informação da EMAE, a potência elétrica instalada na Usina é de 889 MW_{EL}, logo o sistema turbina e gerador apresentam a eficiência η que é:

$$\eta = \left(\frac{889 MW_{EL}}{1.107,792 MW} \right) = 0,80249 \text{ ou } 80,25\% \quad (7).$$

Esse rendimento é muito superior ao rendimento obtido por uma usina térmica, cujo valor é de 35% ou de uma usina térmica com co-geração que pode alcançar até 58% de rendimento.

3.3 Água: Gestão dos Recursos Hídricos

A gestão dos recursos hídricos nasceu pela Constituição Federal de 1988, que estabeleceu ser as águas bens da União, no artigo 20 e parágrafo III: "os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais".

Coube a Lei Federal nº 9433/97, instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criar no seu artigo 32 e nos seguintes, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) pela regulamentação do artigo 21 da Constituição Federal de 1988.

A PNRH está centrada em quatro princípios:

- 1) a adoção da bacia hidrográfica como uma unidade territorial para a implementação da política e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- 2) os usos múltiplos da água;
- 3) o reconhecimento da água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- 4) gestão descentralizada e participativa do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) norteou-se na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin em 1992, onde foram estabelecidos os princípios do gerenciamento sustentável da água, são eles:

O Princípio nº 1 estabelece que a água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial a manutenção da vida, para o desenvolvimento e para o meio ambiente

O Princípio nº 2 estabelece que o desenvolvimento e o gerenciamento da água, devem ser baseados em uma abordagem participativa, envolvendo os usuários, os planejadores e os encarregados da elaboração de políticas, em todos os níveis.

O Princípio nº 3 estabelece que as mulheres desempenham um papel essencial na provisão, no gerenciamento e salvaguarda da água.

O Princípio nº 4 estabelece que a água tem valor econômico em todos os seus usos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

Os recursos hídricos são gerenciados pelo SNGRH com ação de uma hierarquia nacional e outra estadual, que definem a Formulação da Política (Planejamento Estratégico) e a implementação dos Instrumentos da Política (Planejamento Operacional), por meio de Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Ministério do Meio Ambiente (MMA); Secretaria de Recursos Hídricos (SRH); Agência Nacional de Águas (ANA); Conselhos Estaduais; Comitês de bacias; Agências de Águas, Organizações Cívicas de Recursos Hídricos.

As atribuições dos participantes do SNGRH são descritos a seguir: conselhos-subsidiar a formulação da Política de Recursos Hídricos e diminuir conflitos; Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Recursos Hídricos (MMA/SRH) – Formular a Política Nacional de Recursos Hídricos e subsidiar a formulação do orçamento União por meio da Agência Nacional de Águas (ANA). ANA – Implementar o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, outorgar e fiscalizar o uso de recursos hídricos de domínio do Estado; Comitê de Bacia – decidir sobre o Plano de Recursos Hídricos; Agência de Águas – Escritório do Comitê de Bacia.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos tem origem na Constituição Paulista de 1987, com a criação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, ao qual coube propor a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), que preconizava: “assegurar que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, possa ser controlada e utilizada em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras em todo o território do Estado de São Paulo” (DAEE, 1990).

3.4 Água: Parâmetros Indicadores de Controle de Qualidade

O impacto ambiental no Reservatório Billings tem na água o componente de maior peso, esse é o motivo para parametrizar a qualidade da água por meio de análises.

Para Spelring (1996), o estudo da qualidade da água é fundamental, tanto para se caracterizar as conseqüências de uma determinada atividade poluidora, quanto para se estabelecer os meios para que se satisfaça determinado uso.

A análise da qualidade da água é realizada por um conjunto de características mensuráveis de natureza: química, física e biológica, através de padrões que segundo Sperling (1996), seguem:

- 1) padrão de potabilidade: Portaria nº 518 (2004) do Ministério da Saúde;
- 2) padrão de corpo d'água: Resolução CONAMA 375 (2005) do Ministério do Meio Ambiente, e eventuais legislações estaduais;

3) padrão de lançamento: Resolução CONAMA 375 (2005) do Ministério do Meio Ambiente e, eventuais legislações estaduais.

A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece os usos preponderantes do recurso hídrico em abastecimento público; preservação do equilíbrio das comunidades aquáticas.

Desde 2002, a CETESB utiliza dois índices de qualidade para água, sendo: Índice de Qualidade de Águas Brutas para fins de Abastecimento Público (IAP); Índice de Preservação da Vida Aquática (IVA).

Enquanto o índice IAP é adequado na análise da água bruta para fins de abastecimento, o índice IVA visa qualificar a água para proteger a vida aquática.

Como o reservatório Billings tem múltiplo uso, no qual se inclui a atividade de recreação, deve-se utilizar para análise o Índice de Balnearidade (IB).

3.4.1 Índice de Qualidade das Águas

Segundo a CETESB, a partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Fundation” foi elaborado o Índice de Qualidade das Águas (IQA) que contém nove variáveis consideradas relevantes, são elas: pH, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, turbidez, resíduo total, nitrogênio total, fósforo total e coliformes fecais.

O IQA é calculado pelo produtório, qualidade “ q_i ” de uma variável “ i ” da água, dada por “ q_i ” com o peso “ w_i ” como potência, sendo atribuído esse peso em função da importância da variável na conformação da qualidade global.

Sendo

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (8)$$

Parâmetros:

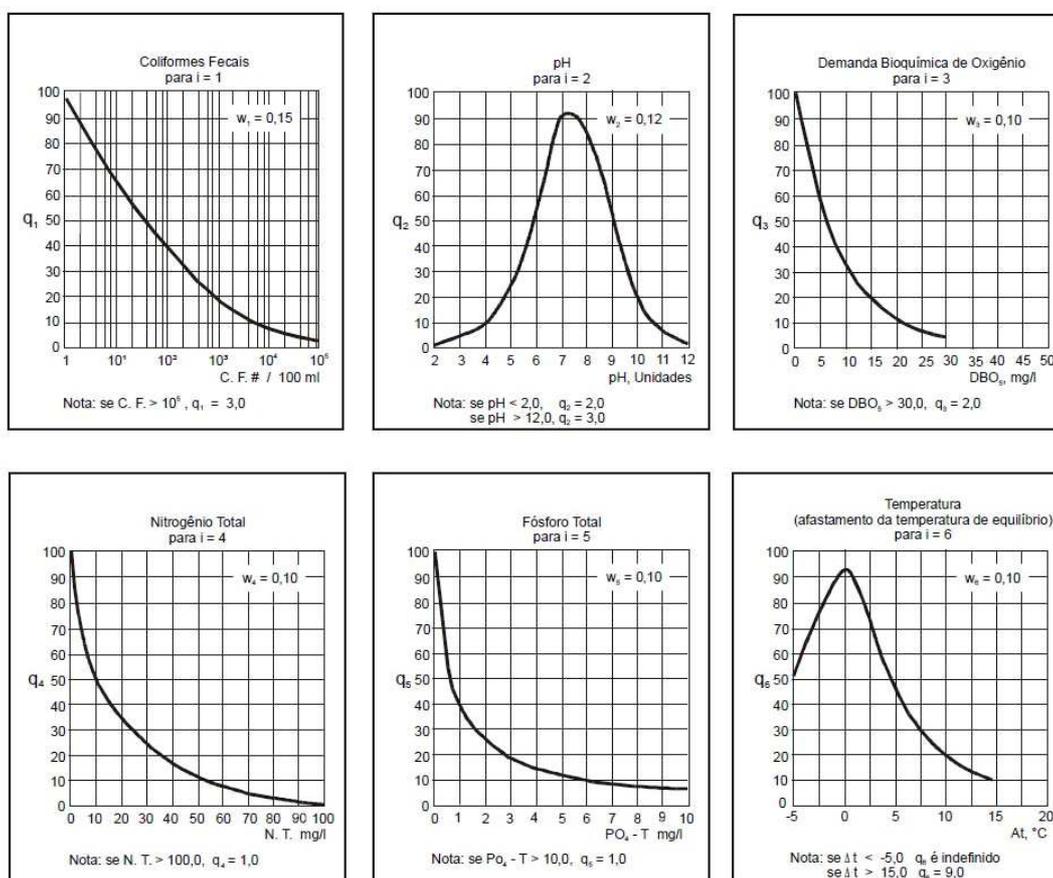
IQA: varia entre 10 e 100

q_i = para a qualidade da i -ésima variável, varia entre 10 e 100, sendo o valor obtido da “curva média de qualidade”, em função da concentração.

w_i = peso da i -ésima variável, um número entre 0 e 1, atribuído em função da importância dessa variável na conformação da qualidade global, sendo que

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{e} \quad n = \text{número de variáveis.}$$

As curvas dos componentes IQA que estão na FIG.2, foram desenvolvidas pela CETESB em 1990, segundo Braga et al (2005) e apresentam o valor do parâmetro, tais como: coliformes fecais ($i=1$); pH ($i=2$); demanda bioquímica de oxigênio ($i=3$); nitrogênio total ($i=4$); fósforo total ($i=5$); temperatura de equilíbrio ($i=6$); turbidez ($i=7$); resíduo total ($i=8$); oxigênio dissolvido total ($i=9$), numa escala 0-100.



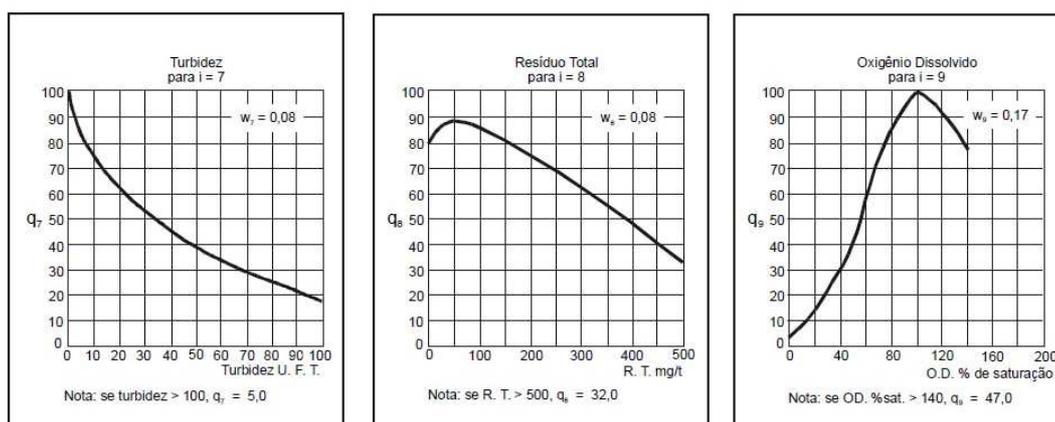


FIGURA 2-Curvas Individuais dos componentes do IQA

Fonte: CETESB (1990)

As características dos parâmetros "i" definidos pela CETESB apud Guerreiro (2007) para medir IQA são as seguintes:

i=1 – coliformes fecais

O grupo coliforme é formado por bactérias que inclui os gêneros: eschecheria, enterobactéria, klebsiela, erwenia, serratia. Utiliza-se da presença da bactéria coliforme fecal como parâmetro para indicar a poluição sanitária, visto que sua presença indica a possibilidade de existir microorganismos patogênicos que são vetores de transmissão de doenças de veiculação hídricas. As principais doenças são: cólera, desínteria amebiana, desínteria bacilar, febre tifóide, paratifóide, gastroenterite, giardise, hepatite infecciosa, leptospirose, paralisia infantil, salmonelose, escabiose.

i=2 – pH (potencial hidrogeniônico)

O pH mede a concentração dos íons de hidrogênio numa solução. O valor do $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$, concentração de íons H^+ em moles por litro numa solução. Quando o valor $\text{pH}=7$ indica que a solução é neutra, abaixo de 7 a solução é ácida e acima de 7 indica que a solução é básica. O critério fixado pelo CONAMA e pela legislação estadual é pH entre 6,5 e 9 para que haja proteção à vida aquática. De acordo com a Portaria 1469 do Ministério da Saúde o padrão de potabilidade da água de abastecimento público tem de apresentar pH entre 6,5 e 8,5.

i=3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

O DBO é a quantidade de oxigênio contida na água necessária para promover a oxidação da matéria orgânica. O DBO é medido em miligrama de oxigênio por litro, na temperatura de 20° C.

i=4 - Nitrogênio Total

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas naturais na formas de orgânico e amoniacal (forma reduzida) ou nas formas de nitrito e nitrato (forma oxidada), sendo o nitrogênio medido em miligrama por litro. Quando na análise da água predominar a forma reduzida, significa que o foco da poluição está próxima, caso contrário, quer dizer que as descargas de esgoto nas águas naturais se encontram distantes do ponto de análise. Os compostos de nitrogênio são nutrientes nos processos biológicos os quais possibilitam o crescimento de algas, produzem o processo de eutrofização.

i=5 – Fósforo Total

Os fosfatos (PO_4) são importantes na composição de moléculas orgânicas essenciais dos seres vivos, sendo indispensável para a floração de algas e fitoplâncton, sua presença promove o processo de eutrofização. As fontes de fosfatos são: a decomposição de matéria orgânica, detergente (tripolifosfato de sódio-STPP), adubos químicos. O fósforo é medido em miligrama por litro.

i=6 – Temperatura

A temperatura no corpo de água natural varia de acordo com a sazonalidade e o período diurno e ao longo da estratificação vertical. Os animais aquáticos consideram habitats em três faixas de temperaturas, resultando: água fria, água morna e água quente. O índice mede o afastamento da temperatura de equilíbrio em grau Celsius.

i=7 – Turbidez

A turbidez mede o grau de atenuação da intensidade de um feixe de luz ao atravessar uma amostra de água. A redução da intensidade da luz é devida à absorção e/ou espalhamento do material em suspensão na água pela presença de partículas inorgânicas (argila, areia) e partículas orgânicas (detritos, bactérias,

plâncton). A unidade de medida é a unidade de Jacson ou nefelométrica (UNT) medido pelo método colorimétrico.

i=8 – Resíduo Total

O Resíduo Total mede a porção de sólido (argila, areia e matéria orgânica) em suspensão em um corpo de água, proveniente de erosão, dejetos domésticos ou industriais. Os sólidos são medidos em mg/L pelo método do cone de IMHOFF.

i=9 – Oxigênio Dissolvido Total

O oxigênio dissolvido (OD) é a quantidade de oxigênio contido num corpo de água natural antes ou após o lançamento do esgoto neste corpo. A unidade de medida é miligrama por litro na temperatura de 20° C.

A qualidade das águas brutas pode ser classificada pelo IQA, em uma escala de 0 a 100, representada na TAB 3.

TABELA 3 - Classificação do IQA

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB (2007)

3.4.2 Índice de Qualidade das Águas Brutas

O Índice de Qualidade das Águas Brutas (IAP) para fins de abastecimento público é calculado pelo produto do Índice de Qualidade de Águas (IQA) pelo Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO).

$$IAP=(IQA)\times(ISTO)$$

As variáveis do ISTO são grupos de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água ou levam toxicidade à água, descritas como:

- a) Variável que indica a presença de substâncias tóxicas (Teste de Ames – genotoxicidade, potencial de trihalometanos (THM), número de células de cianobactérias, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel).
- b) Variável que indica a presença de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, são elas: ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco

O índice ISTO é resultado do produto dos grupos de substâncias tóxicas (ST) pelo grupo de substâncias que alteram a qualidade organoléptica da água (SO).

A equação está representada a seguir: $ISTO= (ST) \times (SO)$

A curva de qualidade padrão na FIG. 3 para cada variável do grupo ST e SO utiliza-se da TAB. 4, sendo excluídas as variáveis do Teste de Ames e do número de células de cianobactérias, embora a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA 375/05 estabeleçam padrões de qualidade para o número de células de cianobactérias.



FIGURA 3 - Curva de qualidade padrão para as variáveis do ISTO (ST e SO)

Fonte: CETESB (2007)

TABELA 4 – Limite Inferior (LI) e Limite Superior (LS) de ST e SO.

Grupo	Variável	L.I. (mg/L)	LS (mg/L)
ST	cádmio	0,005	0,010
	chumbo	0,01	0,033
	Cromo total	0,05	0,059
	níquel	0,02	0,002
	mercúrio	0,001	0,002
	PFTHM	373×10^{-3}	461×10^{-3}
SO	Alumínio dissolvido	0,2	2,0
	Cobre dissolvido	2,0	8,0
	Ferro dissolvido	0,3	5,0
	Manganês	0,1	0,5
	Zinco	5,0	5,9

Fonte: CETESB (2007)

O número de células de cianobactérias, cuja taxa é q_{NCC} (TAB. 5) é obtido pela rede de monitoramento da CETESB, desde 2002.

TABELA 5 – Taxação do número de células de cianobactérias

Nível – nº de células (NC)/mL	Taxação: q_{NCC}
$NC \leq 20.000$	1,00
$20.000 < NC \leq 50.000$	0,80
$50.000 < NC \leq 100.000$	0,70
$100.000 < NC \leq 200.000$	0,60
$200.000 < NC \leq 500.000$	0,50
$NC > 500.000$	0,35

Fonte: CETESB (2007)

A ponderação de ST é obtida pela multiplicação dos dois valores mínimos mais críticos do grupo de substâncias tóxicas.

$$ST = \text{Min1} (q_i) \times \text{Min2} (q_i)$$

q_i = qualidade da variável i

q_{TA} = Teste de Ames

q_{PFTHM} = Potencial de formação de trihalometanos

q_{Cd} = cádmio

q_{Cr} = cromo

q_{Pb} = chumbo

q_{Ni} = níquel

q_{Hg} = mercúrio

q_{NCC} = Número de células de cianobactérias.

A ponderação de SO é obtida pela média aritmética das qualidades padronizadas das variáveis do grupo de substâncias organolépticas.

$$SO = \text{Média aritmética} (q_{Al}; q_{Cu}; q_{Zn}; q_{Fe}; q_{Mn})$$

Tem-se então: $ISTO = ST \times SO$

Índice IAP = IQA x ISTO

Resulta a ponderação moderada de IAP, apresentada na TAB. 6

.

TABELA 6 – Classificação do IAP

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IAP \leq 100$
Boa	$51 < IAP \leq 79$
Regular	$36 < IAP \leq 51$
Ruim	$19 < IAP \leq 36$
Péssima	$IAP \leq 19$

Fonte: CETESB (2007)

3.4.3 Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática

A qualidade das águas com objetivo de proteção da fauna e flora é definida pelo Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática (IVA) e de Comunidades Aquáticas. A presença e concentração de substâncias químicas tóxicas e duas propriedades da água, seu pH e a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) são os indicadores para o IVA.

A proteção das comunidades aquáticas está prevista para corpos d'água enquadrados nas classes: 1, 2 e 3. Portanto, para os corpos de água de classe 4, não será aplicado o IVA.

Para o cálculo do IVA participam o Índice do Estado Trófico para o fósforo IET (PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila-a IET (CL). A classificação para o IVA está apresentada na TAB. 7.

TABELA 7 – Classificação do IVA

Categoria	Ponderação
Ótima	$IVA \leq 2,5$
Boa	$2,6 < IVA \leq 3,3$
Regular	$3,4 < IVA \leq 4,5$
Ruim	$4,6 < IVA \leq 6,7$
Péssima	$6,8 \leq IVA$

Fonte: CETESB (2007)

3.4.4 Índice de Balneabilidade

O corpo d'água cumprindo seu papel de múltiplo uso, neste caso, para fins de recreação de contato primário, tais como as praias de águas interiores, tem a qualidade da água avaliada pelo Índice de Balneabilidade (IB). As praias de rios ou de reservatórios são classificadas pela CETESB pelo IB, por meio de uma síntese das classificações realizadas ao longo de 52 semanas de monitoramento, resultando em classificações mensais, segundo a TAB. 8. O parâmetro de

avaliação é o número de coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli* encontrado no volume 100 ml no intervalo de tempo de um ano.

TABELA 8 – Índice de Balneabilidade

Categoria	Praia Semanal	Praia mensal
ÓTIMA	Praias classificadas como EXCELENTES em 100% do ano	Números de resultados de Coliformes Tolerantes menores de 250 ou E.coli menores do que 200 em 100% do ano
BOA	Praias próprias em 100% do ano, exceto as classificadas como EXCELENTES EM 100% do ano.	Números de resultados de Coliformes Tolerantes menores de 1000 ou E.coli menores de 800 em 100% ao ano, exceto a condição de menores do que 250 e 200 em 100% do ano.
REGULAR	Praias classificadas como IMPRÓRIAS EM porcentagem de tempo inferior a 50% do ano.	Números de resultados de Coliformes Termotolerantes maiores de 1000 ou E.coli maiores do que 800 em porcentagem inferior a 50% do ano.
MÁ	Praias classificadas como IMPRÓRIAS EM porcentagem de tempo inferior a 50% do ano	Números de resultados de Coliformes Termotolerantes maiores de 1000 ou E.coli maiores do que 800 em porcentagem igual ou superior a 50% do ano.

Fonte: CETESB (2007)

3.5 Classe de Água

A classificação dos corpos de água tendo em vista o impacto ambiental é definida pela Resolução n°357/2005.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso de suas competências que lhe são conferidas pelo art. 6º, inciso II e 8º, inciso VII, da Lei n°6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto no 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e Considerando a vigência da Resolução CONAMA no 274, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre a balneabilidade;

Considerando o art. 9º, inciso I, da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, e demais normas aplicáveis à matéria; considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco a natureza; considerando que a Constituição Federal e a Lei n° 6.938, de 31 de agosto de

1981, visam controlar o lançamento no meio ambiente de poluentes, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida; considerando que o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, podendo ser fixadas metas progressivas intermediárias, obrigatórias, visando a sua efetivação; considerando os termos da Convenção de Estocolmo, que trata dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs, ratificada pelo Decreto Legislativo no 204, de 7 de maio de 2004; Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial a defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes; considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender as necessidades da comunidade; considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas; considerando a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação as classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos; considerando a necessidade de se reformular a classificação existente, para melhor distribuir os usos das águas, para melhorar a especificação das condições e padrões de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior aperfeiçoamento; e considerando que o controle da poluição esta diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água; resolve:

Art. 1º Esta Resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

CAPITULO I - DAS DEFINIÇÕES

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 %;

II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 % e inferior a 30 %;

III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30%;

IV - ambiente lentic: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado;

V - ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes;

VI - aquicultura: o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático;

VII - carga poluidora: quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em um corpo de água receptor, expressa em unidade de massa por tempo;

VIII - cianobactérias: microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis) capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos a saúde;

IX - classe de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros;

X - classificação: qualificação das águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) atuais e futuros;

XI - coliformes termotolerantes: bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidasnegativas, caracterizadas pela atividade da enzima beta-galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° – 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal;

XII - condição de qualidade: qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente as Classes de Qualidade;

XIII - condições de lançamento: condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor;

XIV - controle de qualidade da água: conjunto de medidas operacionais que visa avaliar a melhoria e a conservação da qualidade da água estabelecida para o corpo de água;

XV - corpo receptor: corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente;

XVI - desinfecção: remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos;

XVII - efeito tóxico agudo: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos, usualmente letalidade ou alguma outra manifestação que a antecede, em um curto período de exposição;

XVIII - efeito tóxico crônico: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos que afetam uma ou varias funções biológicas dos organismos, tais como a reprodução, o crescimento e o comportamento, em um período de exposição que pode abranger a totalidade de seu ciclo de vida ou parte dele;

XIX - efetivação do enquadramento: alcance da meta final do enquadramento;

XX - enquadramento: estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo;

XXI - ensaios ecotoxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos aquáticos;

XXII - ensaios toxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos, visando avaliar o potencial de risco a saúde humana;

XXIII - escherichia coli (E.Coli): bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima beta-glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas;

XXIV - metas: e o desdobramento do objeto em realizações físicas e atividades de gestão, de acordo com unidades de medida e cronograma preestabelecidos, de caráter obrigatório;

XXV - monitoramento: medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser continua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água;

XXVI - padrão: valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente;

XXVII - parâmetro de qualidade da água: substancias ou outros indicadores representativos da qualidade da água;

XXVIII - pesca amadora: exploração de recursos pesqueiros com fins de lazer ou desporto;

XXIX - programa para efetivação do enquadramento: conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e da final, da qualidade de água estabelecida, para o enquadramento do corpo hídrico;

XXX - recreação de contato primário: contato direto e prolongado com a água (tais como natação, mergulho, esqui-aquático) na qual a possibilidade do banhista ingerir água e elevada;

XXXI - recreação de contato secundário: refere-se aquela associada a atividades em que o contato com a água é esporádico ou acidental e a possibilidade de ingerir água é pequena, como na pesca e na navegação (tais como iatismo);

XXXII - tratamento avançado: técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir a água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica;

XXXIII - tratamento convencional: clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH;

XXXIV - tratamento simplificado: clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário;

XXXV - tributário (ou curso de água afluente): corpo de água que flui para um rio maior ou para um lago ou reservatório;

XXXVI - vazão de referência: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instancias do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH);

XXXVII - virtualmente ausentes: que não é perceptível pela visão, olfato ou paladar; e

XXXVIII - zona de mistura: região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente.

CAPITULO II - DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA

Art.3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

Seção I - Das Águas Doces

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;*
- b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,*
- c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.*

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;*
- b) a proteção das comunidades aquáticas;*
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 de 2000;*
- d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;*
- e) a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.*

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;*
- b) a proteção das comunidades aquáticas;*
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 de 2000;*
- d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e*
- e) a aquicultura e a atividade de pesca.*

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;*
- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;*
- c) a pesca amadora;*
- d) a recreação de contato secundário;*
- e) a dessedentação de animais.*

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) a navegação;*
- b) a harmonia paisagística*

3.6 Água Potável

3.6.1 Planejamento

O planejamento estratégico para a sociedade é crucial, pois o planejamento permite prever as condições para se produzir um crescimento sócio-econômico sustentável. Uma variável de primeira grandeza de um planejamento geopolítico é o dimensionamento demográfico com o qual se visualiza um cenário de 25 anos à frente do seu tempo.

A tendência para a estabilidade de uma população foi descrita por Verhulst (1839), no ensaio "Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement".

Segundo Braun (1975), foram os pesquisadores Raymond Pearl (biólogo) e Lowell Reed (matemático) que adotaram o termo "logística" para a equação de Verhulst, que está representada na FIG. 4. Os pesquisadores aplicaram este modelo na previsão do crescimento da população do Estados Unidos em 1920.

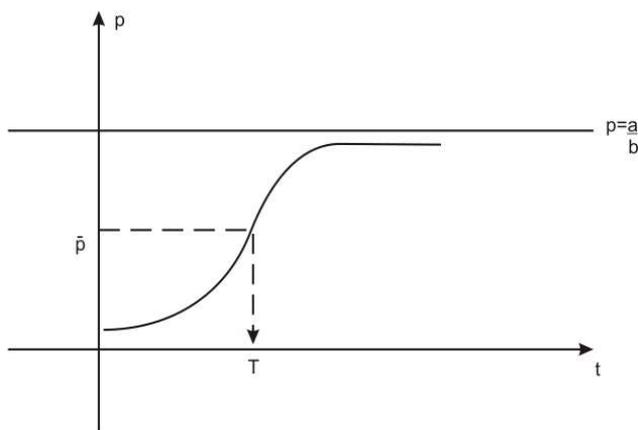


FIGURA 4. - Curva da dinâmica da população de Verhulst – Curva de Logística

A equação de Verhulst (9) diz que a taxa de variação da população em relação ao tempo, cresce proporcionalmente à população “p” e decresce pelo efeito resistivo, proporcional ao quadrado da mesma.

$$\frac{dp}{dt} = ap - bp^2 \quad (9)$$

Conclui-se que o aumento da população cria um efeito resistente ao próprio aumento dessa população.

Na equação (9), “p” significa população (em número de habitantes); “t” é o tempo (medido em anos); “a” e “b” são constantes características de cada meio populacional. A constante “a” é medida em $\frac{1}{t}$, isto é: $(\text{ano})^{-1}$, enquanto a

constante “b” é medida $\frac{1}{pt}$, isto é: $(\text{hab.ano})^{-1}$.

A equação (9) é uma equação diferencial de 1º ordem não linear, também chamada de Equação de Bernoulli.

A solução da equação (9), dado por:
$$p(t) = \frac{a/b}{1 + e^{-a(t-T)}} \quad (10)$$

$\bar{p}(T) = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{b} \right)$ (11) é o valor da metade da População de Estabilização, sendo “T” o tempo (ano) em que ocorre este evento.

As previsões da população de estabilidade para a RMSP para o ano de 2020 foram de: 21.600.000 hab, pelo projeto SANEGRAN (1978); 20.585.568 hab pelo Consórcio HIDROPLAN (1995) e 19.900.000 hab pelo Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (1998) e seguem a equação da logística conforme podem ser observadas na FIG.5.

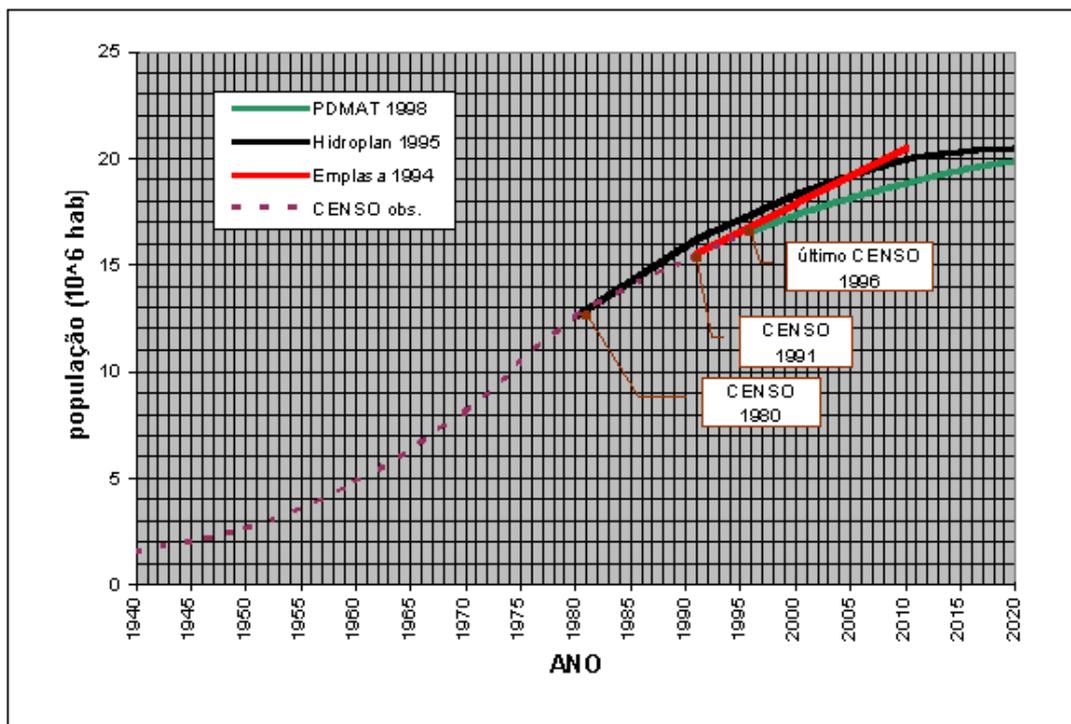


FIGURA 5 – Projeções Demográficas para a RMSP

Fonte: PROMON

O planejamento para sistemas relacionados com a água no meio ambiente urbano, segundo Tucci (2005) deve prever ações relativas: aos mananciais de água, fonte de água para abastecimento humano, animal e industrial; ao abastecimento de água, pela utilização da água disponível no manancial que deve ser transportada até a estação de tratamento (ETA) e depois distribuída a população por uma rede; ao saneamento de efluentes cloacais, por um sistema de coleta dos efluentes residenciais, comerciais e industriais, com o transporte deste volume para tratamento numa ETE (estação de tratamento de esgoto) e o despejo da água tratada de volta ao sistema hídrico; à drenagem urbana, formada por rede de coleta de água e resíduos sólidos proveniente da ação das águas da precipitação pluviométricas sobre as superfícies urbanas; ao controle das inundações ribeirinhas, que envolve evitar calamidades públicas resultantes de inundações de devido a intensa impermeabilização do solo urbano.

As crises são reflexos da falta de planejamento. As constantes crises de abastecimento de água vivida pela população da Cidade de São Paulo a partir do início do século 20 e posteriormente pela Região Metropolitana de São Paulo tiveram como agente principal a alta taxa de crescimento populacional, no período de 1900 a 2000, enquanto a taxa de crescimento populacional foi de 7.436,33%, a taxa de demanda de água cresceu 21.333,33% (DAEE).

Hoje, a água potável que provem para a Região Metropolitana de São Paulo nasce nos seguintes mananciais (FIG. 6): Alto Cotia (SABESP, vazão: 0,9 m³/s); Baixo Cotia (SABESP, vazão: 1,1 m³/s); Cantareira (SABESP, vazão: 31,3 m³/s); Alto Tietê (DAEE, vazão: 8,1 m³/s); Rio Claro (SABESP, vazão: 3,6 m³/s); Ribeirão da Estiva (SABESP, vazão: 0,1 m³/s); Rio Grande (EMAE, vazão: 4,2 m³/s); Guarapiranga (EMAE, vazão: 14,3 m³/s).



FIGURA 6 – Mananciais da RMS

Fonte: SABESP

3.6.2 Demanda de Água

A demanda de água para abastecimento urbano para a Bacia do Alto Tietê em 2004 foi 65 m³/s, enquanto a previsão realizada no Plano da Bacia do Alto Tietê em 2001, para um cenário induzido foi de 65,92 m³/s (2004) e a disponibilidade era de 66,2 m³/s (2004). A demanda de 69,76 m³/s num cenário induzido para 2010 exige a ampliação do Sistema Alto Tietê (ETA-Taiaçupeba) de 9,68 m³/s (2004) para 15 m³/s (2011), que será realizada através da Parceria Pública Privada (PPP), a primeira parceria do setor de saneamento básico no Brasil foi realizada em 2009.

3.6.3 Sistema Produtor

Um sistema produtor gerencia um ou até mais de um manancial (ou reservatório), cujas águas são tratadas em Estação de Tratamento de Água (ETA) e posteriormente enviadas aos consumidores, segundo a TAB. 9, para a RMSP, senda a ETA de maior vazão da RMSP é a ETA-Guaráú (FIG.7)

TABELA 9. Sistema Produtor e ETA.

Sistema Produtor	ETA	Vazão (m ³ /s)	População atendida (10 ⁶ hab.)
Cantareira (1)	Guaráú	31,66	8,8
Baixo Cotia	Baixo Cotia	0,89	0,2
Alto Cotia	Morro Grande	1,10	0,3
Guarapiranga (2)	Alto da Boa Vista	13,20	3,7
Rio Grande	Rio Grande	4,66	1,3
Ribeirão da Estiva	Ribeirão da Estiva	0,08	0,02
Rio Claro	Casa Grande	4,66	1,3
Alto Tietê	Taiaçupeba	9,68	2,7
Total		65,00	18,0

Fonte: CETESB, 2004.

(1) -1ª Outorga em 1974, 2ª Outorga em 2004 (por dez anos)–Governo Federal;

(2) -Pelo braço Taquacetuba 2 m³/s são transferidos da Billings para Guarapiranga, outorga concedida pelo Governo Federal.



FIGURA 7 – ETA Guarau

Fonte: SABESP

3.6.4 Macrobacia

As bacias do Alto Tietê, do Piracicaba e da Baixada Santista têm suas Unidades Hidrográficas hidráulicamente conectadas. A bacia do Alto Tietê está conectada a bacia do rio Piracicaba pelo Sistema Cantareira que abastece a RMSP, enquanto que pelo Sistema Billings as águas de parte da produção hídrica do Alto Tietê são desviadas para a Baixada Santista (FIG. 8)

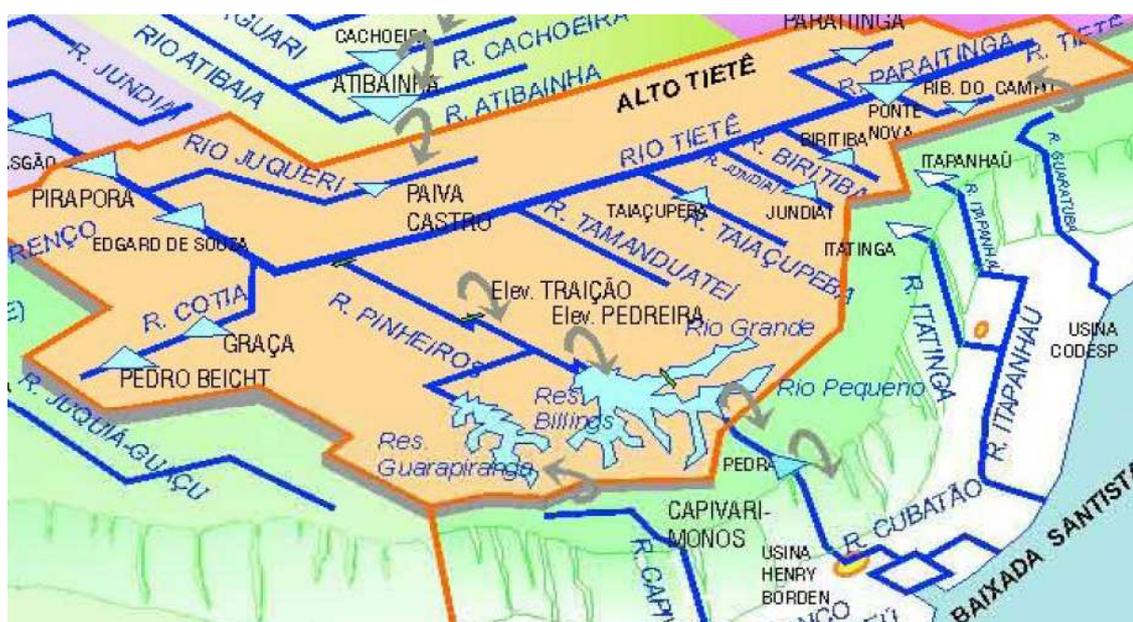


FIGURA 8-Macrobacia: Piracicaba, Alto Tietê e Baixada Santista

Fonte: HIDROPLAN

3.6.4.1 Bacia Piracicaba/Capivari/Jundiaí

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-05) administra uma área de 14.178 km² e é constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba (parte paulista), Capivari e Jundiaí. A Unidade de Gerenciamento está situada na Região Metropolitana de Campinas (RMC).

Dos recursos hídricos de superfície das bacias que compõem a UGRHI-05, em particular os da bacia do Piracicaba, não se encontram em sua totalidade à disposição para uso nesta bacia, pois uma parcela substancial dos recursos hídricos é transferida via Sistema Cantareira para a RMSP, sendo responsável atualmente por aproximadamente 50% do abastecimento da sua população. Além da transposição de água da bacia do Piracicaba para a RMSP, ocorrem também na área da UGRHI exportações internas, tais como: (a) da bacia do Atibaia para a do Jundiaí, visando ao abastecimento do município de Jundiaí; (b) da bacia do Atibaia para as dos rios Capivari e Piracicaba, para o sistema de abastecimento da água de Campinas; (c) da bacia do Jaguarí para as bacias do Atibaia e Piracicaba.

A área da UGRHI-05 apresenta quatro grandes domínios geológicos: o embasamento cristalino, as rochas sedimentares, as rochas efusivas e as coberturas sedimentares.

Conforme o Relatório Zero da UGRH-05 (1999): (a) 5,6% de sua área total é ocupada pela cobertura vegetal natural; (b) 3,2% por reflorestamentos; (c) 28,2% por culturas agrícolas; (d) 57,1% por pastagens e campos antrópicos e (e) 4,9% por áreas urbanas e indústrias.

3.6.4.2 Bacia do Alto Tietê

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-06) administra a área de 5.868 km² que corresponde à área drenada pelo rio Tietê desde suas nascentes em Salesópolis, até a barragem de Rasgão, integrada por 34 municípios. O território abrangido por essa UGRHI-06 ocupa grande parte do

território da RMSP e dos municípios metropolitanos apenas Guararema, Santa Isabel e Jujutiba não integram a mesma. A UGRHI-06 contém 99,5% da população da RMSP (com 8.051 km² e 39 municípios) que estão localizados na área desta Unidade de Gerenciamento.

A maior parte da área urbana da UGRHI-06 está assentada em terrenos sedimentares de idade Cenozóica, compreendendo os depósitos terciários da bacia de São Paulo e as coberturas aluviais mais recentes são de idade quaternária, desenvolvidas ao longo dos principais rios que drenam a região. Os terrenos cristalinos, por sua vez, contornam as áreas sedimentares e configuram praticamente toda a borda da RMSP, concentrando-se neles as áreas de cobertura vegetal e de mananciais hídricos de superfície. Estes terrenos também compreendem as áreas de expansão humana mais recente na RMSP. Há uma estreita faixa de florestas contínuas ou com menor nível de fragmentação nas porções leste/sudeste, junto à escarpa da Serra do Mar e sul/sudoeste, sugerindo ambientes em melhor estado de conservação e com continuidade com o maciço florestal atlântico. Em menor escala, ao norte também há significativa área de matas (Serra da Cantareira), porém mais isolada. De modo geral as derivações ambientais promovidas pela ocupação antrópica são extremamente marcantes neste trecho da bacia do Tietê.

3.6.4.3 Bacia da Baixada Santista

A Unidade de Gerenciamento de recursos Hídricos (UGRHI-07) administra a área de 5.868 km² e localiza-se a sudeste do Estado de São Paulo, ao longo do litoral. É definida pelas bacias hidrográficas de vários cursos d'água que desembocam no estuário de Santos, no Largo do Candinho, no canal de Bertioga ou diretamente no oceano Atlântico. Apresenta vinculações hídricas com a UGRHI 06 (Alto Tietê): (a) mediante o Sistema Billings que transfere águas do Alto Tietê para geração de energia na Usina Hidrelétrica Henry Borden; tais águas, depois, são parcialmente aproveitadas para abastecimento público da Baixada Santista e do parque industrial de Cubatão; (b) da vertente marítima, por sua vez, duas transposições de pequeno porte – das cabeceiras do rio Capivari (1 m³/s) e do rio

Guaratuba ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) – são efetuadas para o Alto Tietê para reforço do abastecimento público da RMSP.

O substrato geológico da região é composto por grande variedade litológica, agrupada genericamente em dois grupos com características distintas: as rochas do embasamento e as coberturas cenozóicas.

Quanto à cobertura vegetal, de acordo com o PERH (2004-2007), a Baixada Santista contém 56,48% de sua área recoberta por vegetação nativa, o que corresponde a 163.011 ha.

3.7 Rio Tietê

A nascente do rio Tietê está localizada no Município de Salesópolis na altitude de 1027,35 m, latitude sul $23^{\circ}34'17.1''$ e longitude oeste $45^{\circ}44'9.5''$, conforme FIG. 9. O rio Tietê percorre 1.136 km, da nascente à sua Foz, quando encontra o rio Paraná em Itapura na altitude de 318 m, latitude sul $20^{\circ}38'46''$ e longitude oeste de $51^{\circ}30'32''$ (DAEE).



FIGURA 9-Dados da Nascente do Rio Tietê

A ação antrópica criou uma intensa ocupação urbana nestas várzeas e para piorar o cenário os cursos d'água foram utilizados como diluidores de esgoto doméstico e industrial. A macro-região do rio Tietê teve sua cobertura vegetal destruída ao longo dos fundos de vales dos seus principais afluentes: Tamanduateí, Pinheiros, Aricanduva e dos seus menores tributários como: Cabuçu de Cima e Baixo, Pirajuçara. Como consequência, segundo o Plano Diretor do Sistema de Macrodrenagem (PROMON,1998), aumentou a impermeabilização do solo e então uma das premissas básicas do projeto de ampliação da calha do rio Tietê no trecho compreendido entre as barragens da Penha até Edgard de Souza foi a preservação das várzeas naturais ainda existente a montante da barragem da Penha. Previam-se áreas impermeáveis variando entre 2,0 a 23,5%, com densidades populacionais de 11 a 50 hab/ha para o ano 2020, enquanto nas demais áreas da RMSP com a previsão desta grande urbanização em aproximadamente 1.000 km² ocorreria ocupação com média de 104 hab/ha. A velocidade média de escoamento do rio estará entre 1,5 a 1.8 m/s, com uma vazão crítica para o ano de 2020, cujo parâmetro foi o evento de fevereiro de 1983. Quanto à qualidade da água, o Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê previa em 2001 que tendo o rio Tietê uma vazão mínima como referência, nesta condição a carga de DBO (medida da quantidade de oxigênio necessária para a estabilização biológica da matéria orgânica existente ou lançada num corpo d'água) cairia de 40 mg/L para 20 mg/L em 2010, enquanto que OD (oxigênio dissolvido no corpo d'água) de um valor nulo entre a barragem da Penha até Barueri em 2001, alcançaria entre 0,5 a 1,8 mg/L em 2010.

3.7.1 Calha do rio Tietê

A calha do rio Tietê tem início à jusante da barragem da Penha e termina no reservatório da barragem Edgard de Souza. O projeto básico de ampliação da calha foi elaborado pela PROMON (1998) até o cenário do ano de 2005 e teve sua validade estendida para o horizonte de 2020.

A importância do projeto para a RMSP está na capacidade de melhoria da veiculação das cheias dos diversos cursos d'água, afluentes ao rio Tietê,

permitindo uma maior vazão no trecho entre a foz do rio Tamanduateí e a foz do rio Pinheiros.

O projeto para ampliação da calha do rio Tietê levou em consideração o evento chuvoso ocorrido em toda a bacia do Alto do Tietê, no período de 01/02/1983 (7h) a 02/02/1983 (7h), que é considerado a maior tormenta verificada na bacia dentro do intervalo de dados existentes. Tanto a PROMON quanto o CONSÓRCIO HIDROPAN, utilizaram-se desse evento como base para seus estudos e calibração dos modelos de simulação hidrológica. A distribuição espacial das chuvas durante aquele evento pode ser considerada crítica e num período de 24 horas as chuvas acumuladas atingiram a média de 110 mm entre a barragem da Penha e a Foz do rio Pinheiros.

3.7.2 Precipitação intensa na RMSP

A PROMON (1998) na elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT) dispunha de três equações INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF) para calcular as precipitações intensas na RMSP. Segundo a PROMON, as equações foram determinadas por Paulo Wilken, Antonio Garcia Occhipinti e Felix Mero, sendo que no Plano Diretor foi utilizada a equação de Mero (12), pois a mesma fornece maiores valores de chuva no ponto IAG, o qual se refere ao posto do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, a equação (12) é :

$$i_{t,T} = t^{-0,821} \cdot \{16,14 - 5,65 \cdot \ln \ln [T/(T-1)]\} \quad (12)$$

A equação (12) é empregada em evento de duração entre 1 e 24 horas, e os seus parâmetros são:

i = intensidade da chuva em mm/min

t = duração da chuva em minutos

T = período de retorno em anos

Na determinação da distribuição espacial das chuvas na RMSP, a PROMOM ao aplicar a equação de Mero em toda a área de drenagem introduziu um coeficiente de redução (k), visto que a equação é válida para um ponto específico. Como a área de drenagem da bacia do rio Tietê tem 3.230 km², desde a sua cabeceira até a barragem Edgard de Souza (excluída a bacia do rio Pinheiros), para se calcular a distribuição espacial das chuvas deve-se utilizar da equação de Paulhus (Linsley et al, 1975 apud PROMON) por meio da equação (13):

$$P_{\text{área}} = P_{\text{ponto}} \cdot k \quad (13)$$

Tem-se: $P_{\text{área}}$ = precipitação na área

P_{ponto} = precipitação no ponto

Sendo: $k = 1,0 - [0,1 \cdot \log(A/A_0)] \quad (14)$

No presente caso, da RMSP os dados são: $A=3.320 \text{ km}^2$, $A_0=25 \text{ km}^2$, logo $k=0,789$.

A TAB. 10 ilustra o comportamento das precipitações médias (em milímetros) num período de 24 horas em toda a bacia do rio Tietê, tendo por base o ponto IAG para o qual $k=1,00$ e nas diversas taxas de chuvas de retorno (TR em anos).

TABELA 10 – Chuvas de 24 horas na RMSP para diversas TR

TR (anos)	IAG; K=0,789	IAG; K=1	PROMOM 86	HIDROPLAN 95	ADOTADA
100	122,12	154,78	121	117,3	122
50	110,67	140,27	111	107,3	111
25	99,18	125,7	100	97,2	99
10	83,63	106	86	83,7	84
5	71,33	90,41	76		76
2	52,79	66,91	60		60

Fonte: PROMON (1998)

Segundo a PROMON, o modelo hidrológico utilizado para se estudar as condições de escoamento superficial na bacia do Alto Tietê foi o modelo chuva-vazão denominado CABC – Análise de Bacias Complexas, desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e para a estimativa da parcela impermeável das sub-bacias, tomou-se como base a relação densidade populacional-área impermeável constante do trabalho “Estimativa de Área Impermeável de Macrobacias Urbanas”- (Campana e Tucci,1994, apud PROMON, 1998). As densidades populacionais foram obtidas a partir dos estudos de atualização e projeção populacional para o horizonte de planejamento de 2020.

A PROMON prevê um cenário crítico na vazão do rio Tietê devido ao evento de chuvas do período de retorno TR=100 anos que ocorrerá no ano de 2020 (TAB. 11).

TABELA 11-Cenário de vazão no rio Tietê

TRECHO	Vazão no Tietê, cenário do projeto (m ³ /s)	Vazão no Tietê, cenário mais crítico (m ³ /s)
Penha	498	1.060
Foz do Cabuçu de Cima	561	1.190
Foz Aricanduva	640	1.450
Foz Tamanduateí	997	2.020
Foz Pinheiros	1.048	2.170
Foz Barueri	1.188	2.560
Edgard de Souza	1.434	2.680

TR= 100 anos acontecendo no ano de 2020 (PROMON,1998)

A crescente urbanização à montante da barragem da Penha e a contribuição dos tributários do rio Tietê chama a atenção para a possibilidade de provocar um cenário crítico, impactando na barragem Edgar de Souza de capacidade máxima de 1.400 m³/s. Ao ocorrer eventos hidrológicos significativos, a vazão potencial será de 2.700 m³/s. Estes eventos provocarão tremendo impacto à jusante da

barragem da Penha. A impermeabilização do solo da RMSP será uma das causas de uma portentosa enchente no vale do rio Tietê, na ocorrência da chuva de ciclo de retorno de 100 anos, com previsão para ano de 2020.

3.8 Rio Pinheiros

Quando a água chega à Foz do rio Pinheiros já percorreu aproximadamente 110 km pelo rio Tietê desde a sua nascente, e no percurso sofreu a transformação de água potável para água poluída de classe 4, como revela o Relatório da Qualidade das Águas Interiores (CETESB 2007) das amostras obtidas na Estrutura de Retiro. Os piores dados dos parâmetros relacionados neste relatório estão apresentados na TAB. 12.

TABELA 12. Parâmetros físico-químico-microbiológico obtidos a partir de amostras na Estrutura de Retiro em 2007

Variável de qualidade	Resultado	Data da amostragem (2007)	Classe 2 CONAMA 357/2005
Fósforo total (mg/L)	3,31	13/09	≤ 0,025
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	21,2	13/09	< 3,7
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	3.600.000	14/03	≤ 1000
DBO (mg/L)	75	13/09	≤ 5
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Zero	10/01	≥ 5
Turbidez (UNT)	48,13	25/07	≤ 100

Fonte: CETESB, 2007

Resultados idênticos obtidos em 1983 levaram o então Governador de São Paulo, Franco Montoro, proibir o bombeamento das águas do rio Tietê que passando pelo rio Pinheiros pudessem chegar à represa Billings. Essa ação foi levada ao limite e se transformou no Artigo 46, das Disposições Transitórias da Constituição do Estado de São Paulo, promulgada em 1989 e que tem a seguinte redação:

“No prazo de três anos, a contar da promulgação desta Constituição, ficam os poderes Estadual e Municipal obrigados a tomar medidas eficazes para impedir o bombeamento de águas servidas, dejetos, e de outras substâncias poluentes para a represa Billings.”(SANEGRAN,1979)

Para cumprir a Constituição Paulista a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA), conjuntamente com a Secretaria de Energia e Saneamento (SES), editaram a Resolução Conjunta nº 3 SMA-SES em 04 de outubro de 1992. Nesta resolução o Reservatório Billings é considerado como “prioritariamente vocacionado para abastecimento público de água, embora comporte multiplicidade de usos.”

Art. 1º - Fica suspenso, por tempo indeterminado, o bombeamento das águas do rio Pinheiros para a represa Billings.

Segundo Meirelles *et al.* (SANEGRAN,1979), a matéria “prioritariamente vocacionada para abastecimento público...” é reservada a legislação federal, a Constituição Federal dá à União competência para explorar diretamente ou mediante autorização ou concessão, os serviços e instalação de energia elétrica de qualquer origem ou natureza, bem como a de legislar sobre águas, o Código das Águas (Decreto Federal 24.643 de 1934).

Da experiência foi editada a Resolução Conjunta SEE-SMA-SRHSO I em 13/03/96, a qual estabeleceu:

Art. 1º - Os órgãos responsáveis pela operação do sistema hídrico da bacia do Alto Tietê e das bacias a ela interligadas ficam autorizados proceder o bombeamento das águas do Rio Pinheiros para a Represa Billings, quando ocorrerem as seguintes situações de emergência:

- I. Previsão de vazão do Rio Tietê, no ponto de sua confluência com o rio Pinheiros, acima de 160 m³/s;*

- II. *Sobrelevação superior a 30 cm de nível d'água na confluência com o rio Pinheiros.*

Art. 2º - Os Secretários de Estado de Energia (SEE), do Meio Ambiente (SMA), de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras (SRHSO) poderão conjuntamente determinar a retomada do bombeamento das águas do Rio Pinheiros para a Represa Billings, nas seguintes condições:

- I. *Queda da cota na tomada d'água da Usina Henry Borden a níveis insuficientes para assegurar o fornecimento de energia elétrica em situações emergenciais;*
- II. *Formação de espumas surfactantes no Rio Tietê, a jusante de Edgar de Souza, que venham a extravasar o espelho d'água;*
- III. *Formação de "bloom" de algas nos corpos hídricos da Região Metropolitana de São Paulo e Médio Tietê, comprometendo sua qualidade para fins de abastecimento público.*

Conclue-se da redação do Art. 1º da Resolução Conjunta SEE-SMA-SRHSO I, que caberá o reservatório Billings socorrer o Rio Tietê sempre que houver enchentes com vazão superior a 160 m³/s, cujas conseqüências serão analisadas no Projeto QAPB, operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH).

3.8.1 Visão Unifilar do Sistema Tietê- Billings

Os elementos do canal do rio Pinheiros e o reservatório Billings são os elementos naturais onde ocorrem as ações que permitem ou não viabilizar a operação de bombeamento das águas do rio Tietê e Pinheiros para o reservatório Billings.

A operação de reversão foi idealizada em 1927 pelo engenheiro Asa White Kenney Billings para aproveitar o extraordinário desnível da Serra do Mar, cujo potencial elétrico viabilizou a construção da Usina Subterrânea com capacidade

de 420 MW_{EL} e conferiu ao complexo Henry Borden formado pelas Usinas Externa e Subterrânea o potencial elétrico total de 889 MW_{EL}.

Segundo Maffei (1989), o projeto do engenheiro Billings para o rio Pinheiros consistiu em retificar o rio Pinheiros e a construção das usinas. As usinas construídas foram a Usina Elevatória de Traição de capacidade de vazão de 280 m³/s (1940) e atualmente com capacidade de 350 m³/s e a Usina Elevatória de Pedreira de capacidade 320 m³/s e atualmente com capacidade de 470 m³/s.

Hoje, a operação de reversão do rio Pinheiros é controlada pela barragem móvel da Estrutura de Retiro que tem sua aplicação estratégica no alívio da vazão do rio Tietê evitando-se assim enchentes à jusante da Foz do rio Pinheiros e propiciando alívio de carga de até 350 m³/s ao rio Tietê.

A proposta do Projeto Flotação é o aproveitamento da água do rio Tietê fora do período de enchentes.

Para comprovar esta possibilidade está em teste a recuperação da água do canal do rio Pinheiros pelo Projeto Flotação, por meio da Estação de Flotação 1 e 2 (FIG. 10).

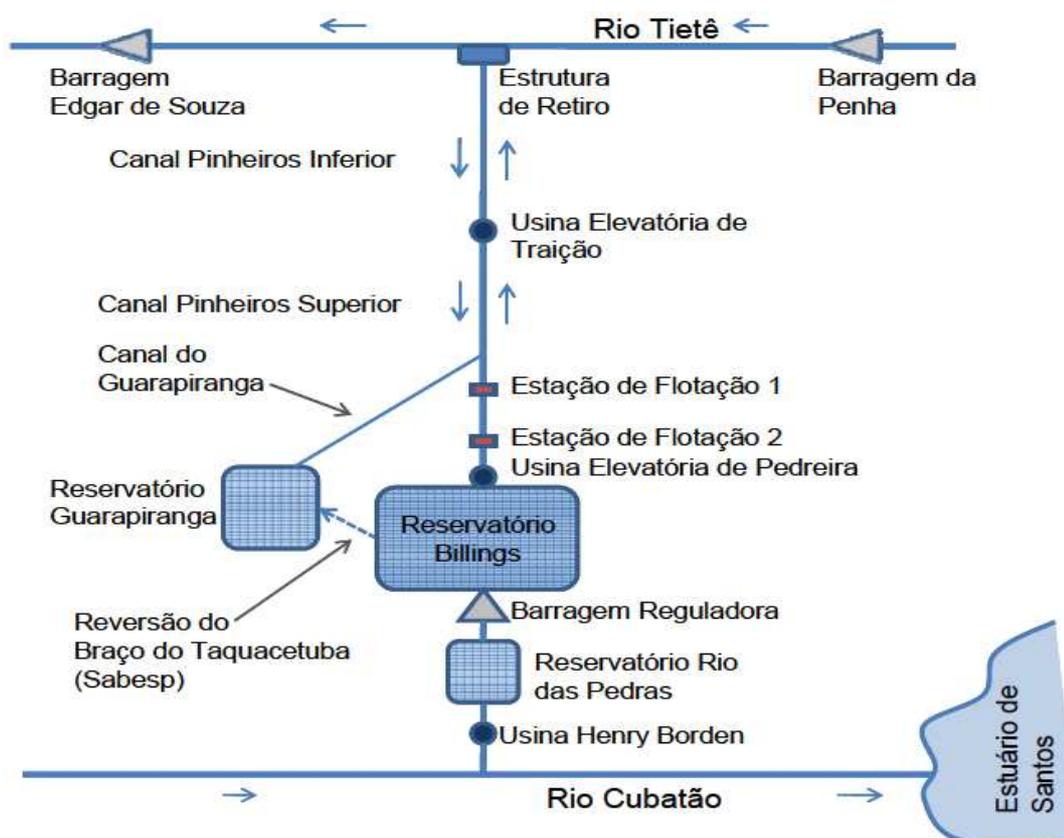


FIGURA 10. Visão do Sistema Tietê-Billings
Fonte: FCTH

3.9 Bacia Hidrográfica da Billings

A Bacia hidrográfica da Billings ocupa área de 58.280,32 ha, localizada na região sudeste da RMSP, limitando ao oeste com o manancial Guarapiranga e ao sul com a Serra do Mar. Os principais rios formadores da Bacia Hidrográfica são: rio Grande (ou Jurubatuba); Ribeirão Pires; Rio Pequeno; Rio Pedra Branca; rio Taquaquecetuba, Ribeirão Bororé, Ribeirão Cocaia, Ribeirão Guacuri, Córrego Grota Funda e Córrego Alvarenga (ISA, 2002). A represa Billings é o maior reservatório de água da RMSP, com espelho d'água de 10.814,20 ha, isto é 18% da área total de sua bacia hidrográfica (HIDROPLAN *apud* ISA, 2002).

A Bacia Hidrográfica da Billings está inserida nos municípios de: Diadema, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo, segundo a TAB. 13 (ISA, 2002).

O clima predominante na região apresenta temperatura média de 19°C e índices pluviométricos anuais variando de 1300 mm em Pedreira a 3500 mm na divisa da bacia da Billings com a bacia litorânea (HIDROPLAN *apud* ISA, 2002)

TABELA 13 – Municípios inseridos na Bacia da Billings

Município	Área total do Município (ha)	Área na Bacia		
		(ha) (1)	% (2)	% (3)
Diadema	3.069,89	726,80	23,68	1,25
Ribeirão Pires	9.900,10	6.367,37	64,32	10,93
Rio Grande da Serra	3.661,45	3.661,45	100,00	6,28
Santo André	17.476,00	9.581,20	54,82	16,44
São Bernardo do Campo	40.597,50	21.384,48	52,67	36,69
São Paulo	152.462,30	16.559,30	10,86	28,41

Fonte: ISA (2002)

(1) Sistema de Informações Geográficas –SIG – ISA

(2) Percentual sobre a área do Município

(3) Percentual em relação à área da Bacia = 58.280,32 ha três municípios com mais influência ambiental na Billings são: São Bernardo do Campo, São Paulo e Santo André.

3.9.1 Ocupação da Bacia da Billings

A Bacia Hidrográfica da Billings, embora teoricamente tivesse a proteção da Lei Federal nº 4.771/65 de preservação de floresta, mata ciliar e a marginal de reservatório, além das leis de Proteção aos Mananciais, das Leis Estaduais nº 989/75 e nº 1.172/76, o que se viu nos últimos trinta anos, segundo o Instituto Sócio Ambiental (ISA), foi uma intensa ocupação da Bacia Hidrográfica da Billings por atividades antrópicas numa área de 15.662,92 ha, 27% da área da bacia (ISA, 2002). Essas atividades antrópicas tais como, desmatamento, impermeabilização do solo, contaminação pelo esgotamento sanitário urbano e industrial ocorreram devido à omissão dos Poderes Públicos da RMSP inseridos no contexto da Billings. Segundo a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA, 2005) *apud* Instituto Brasileiro de Proteção Ambiental (PROAM, 2006) no período de 1990 a 2000 a taxa de crescimento da ocupação no entorno do reservatório

Billings foi de 7% ao ano e para esse cenário (FIG. 11) projetou uma população próxima de um milhão de habitantes em 2010.

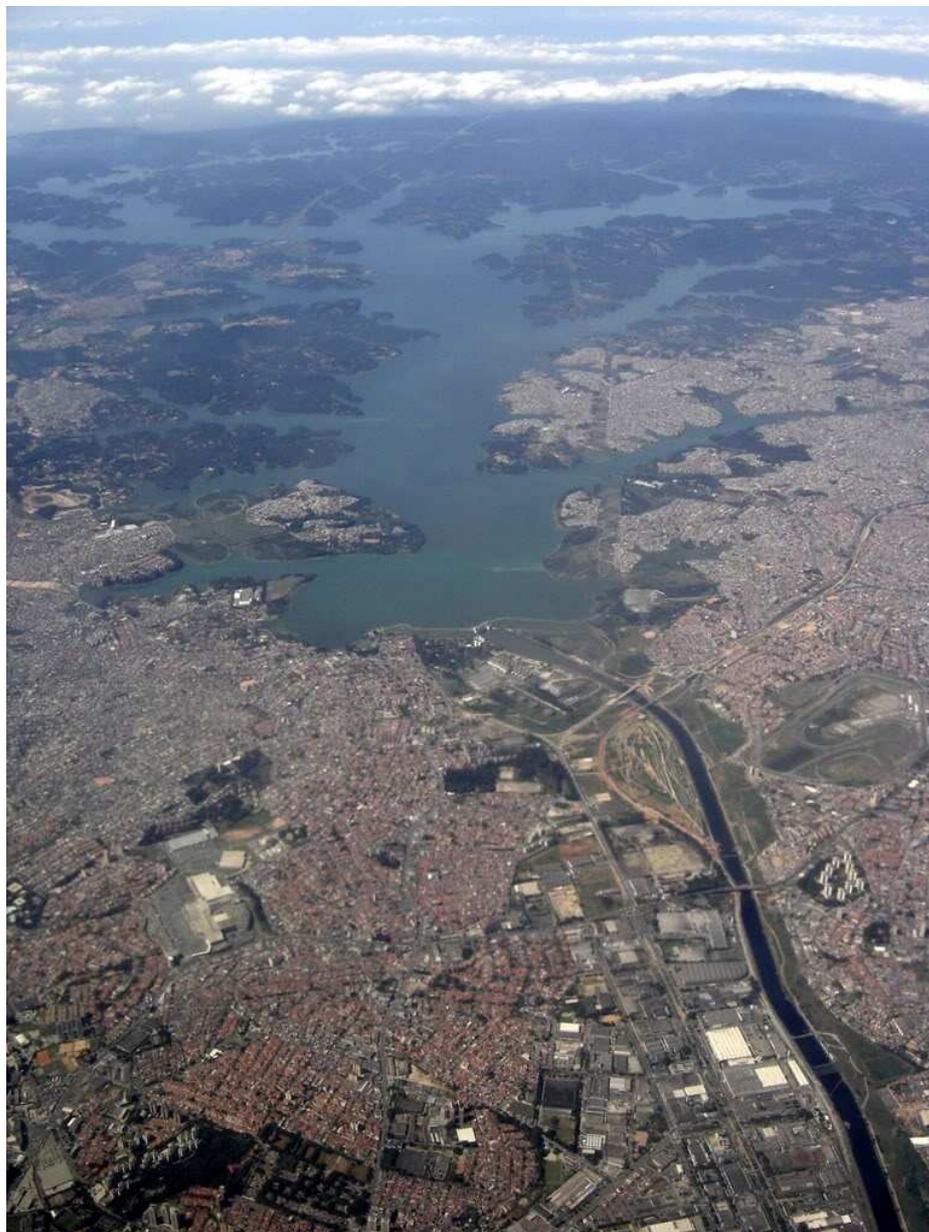


FIGURA 11 – Vista área da Represa Billings

Fonte: Vic_Prudentino (Photobucket)

3.10 Água Residuária

3.10.1 Esgotamento Sanitário da RMSP

O atraso da solução do esgotamento sanitário da grande São Paulo teve início com uma ação popular em 1978 que alguns cidadãos, por interesses pessoais e políticos, moveram contra a execução do Plano SANEGRAN, que visava o tratamento de esgotos de toda a RMSP pela SABESP (SANEGRAN).

O Plano SANEGRAN previa a construção de três Estações de Tratamento de Esgoto na RMSP, que são: Barueri ($63\text{m}^3/\text{s}$), ABC ($15,1\text{m}^3/\text{s}$) e Suzano ($16,9\text{m}^3/\text{s}$) que em conjunto teriam a capacidade de tratamento de $95\text{m}^3/\text{s}$.

O custo total do SANEGRAN era de Cr\$ 70,2 bilhões de cruzeiros (junho/1977) equivalente a R\$ 13.121.406.870,96 (Banco Central, junho/2009) ou pelo PTAX (24/06/09)= 1,896 real/dólar, resulta no valor em dolares de US\$ 6,920,573,243., isto é, valor próximo de 7 bilhões de dólares.

Esse investimento no Plano SANEGRAN seria desenvolvido para atender uma população de 21.600.000 habitantes, uma carga de poluentes de origem industrial estimada em 673 toneladas de DBO por dia correspondente a uma população equivalente de 12.463.000 habitantes (base de 54 gramas de DBO habitantes por Imhoff e Imhoff, 2000) e 84 toneladas de DBO por dia proveniente do escoamento superficial (águas difusas).

3.10.2 O Sistema Coletor de Esgoto da RMSP

O sistema de coletor de esgoto (FIG. 12) e o respectivo tratamento constituem a ação básica de um governo na prestação do serviço de esgotamento sanitário. Essa ação segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) evita 80% das doenças de veiculação hídrica.



FIGURA 12- Sistema Coletor da RMSP
Fonte: SABESP

Na primeira fase do Projeto Tietê, 1200 indústrias que eram responsáveis por 90% da carga poluidora industrial aderiram ao projeto, deixando de lançar dejetos em curso d'água. Nesta fase, o projeto contou com a construção de 1,5 mil km de redes coletoras, 315 km de coletores troncos, 37 km de interceptadores e mais de 250.000 ligações domiciliares, tendo sido entregue ao sistema três estações de tratamento: São Miguel, Parque Novo Mundo e ABC.

A ampliação da estação Barueri serve ao projeto Pomar que encaminha o esgoto que era jogado no Rio Pinheiros na vazão de 2,2 m³/s. A situação do esgotamento sanitário da RMSP em 2001 está apresentada na TAB. 14.

TABELA 14 - Capacidade Nominal e Vazão Tratada

Estação de tratamento	Capacidade nominal (m ³ /s)	Vazão tratada (m ³ /s)
Suzano	1,5	0,8
São Miguel	1,5	0,6
Parque Novo Mundo	2,5	1,3
ABC	3,0	1,5
Barueri	9,5	7,4
Total	18,0	11,6

Fonte: Plano da Bacia do Alto Tietê (FUSP, 2001).

O Sistema Coletor da RMSP tem o apoio de cinco estações de tratamento de esgoto (ETE Suzano, ETE São Miguel, ETE Parque Novo Mundo, ETE Barueri e ETE ABC) que fazem parte do Sistema Integrado que ao ser acrescido do Sistema Isolado formam o sistema de esgotamento sanitário da RMSP. A Revisão do Plano Diretor de Esgoto (RPDE) pela SABESP para o cenário 2000-2010, previa segundo a TAB. 15, as metas elaboradas pela FUSP em 2001 para o Plano da Bacia do Alto Tietê.

TABELA 15. Revisão de Plano Diretor de Esgoto para a RMSP

Região / ano	Esgotamento sanitário (L/s)				
	2000	2005	2010	2015	2020
Sistema Integrado	33.229	41.280	44.818	45.796	46.475
Sistema Isolado	1.400	2.634	3.480	4.114	4.451
Total RMSP	34.629	43.914	48.298	49.910	50.926

Fonte: Plano da Bacia do Alto Tietê (FUSP, 2001)

3.10.2.1 Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

A disposição das ETE's no eixo do rio Tietê, no sentido da nascente do rio para a barragem Edgar de Souza, são apresentadas a seguir com suas características.

A primeira ETE do Sistema Integrado é a ETE-Suzano: localizada no Município de Suzano, sua ação se estende aos Municípios de Mogi das Cruzes, Suzano, Poá, Itaquaquetuba e Ferraz de Vasconcelos, abrangendo uma população de projeto de 720 mil habitantes e apresentando uma vazão média de projeto: 1,5 m³/s (segunda etapa para 4 m³/s), atualmente a vazão é de 1 m³/s.

A segunda ETE é a ETE São Miguel: localizada à margem esquerda do rio Tietê, nas proximidades do km 25 da Rodovia Ayrton Senna, sua ação se estende aos Municípios do extremo leste do Município de São Paulo, Arujá, Ferraz de Vasconcelos e Itaquaquetuba, abrangendo uma população 720.000 habitantes e apresentando uma vazão média de projeto de 1,5 m³/s, com vazão atual de 0,6 m³/s.

A terceira ETE é a ETE Parque Novo Mundo: localizada à margem direita do rio Tietê, próximo da Marginal Tietê e a rodovia Fernão Dias, sua ação se estende aos Municípios da Zona Norte e Leste do Município de São Paulo, abrangendo uma população de Projeto de 1,2 milhões de habitantes, com vazão média de projeto de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e vazão atual de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

A quarta ETE é A ETE ABC: localizada no Município de São Paulo divisa com São Caetano do Sul, à margem esquerda do Córrego dos Meninos, rio tributário do rio Tamanduateí, sua ação se estende aos Municípios de Santo André, São Caetano, São Bernardo, Diadema, Mauá e parte do município de São Paulo, abrangendo uma população de projeto de 1,4 milhões de habitantes, com vazão média de projeto de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ e vazão atual de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

A quinta ETE é a ETE-Barueri (FIG. 13): Localizada no Município de Barueri, sua ação se estende aos Municípios de Jandira, Itapeví, Carapicuíba, Osasco, Taboão da Serra, Embu, parte de Cotia e São Paulo, abrangendo uma população de Projeto de 4,5 milhões de habitantes, com vazão média de Projeto de $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$, na revisão e atualização do Plano Diretor de Esgotos da RMSP (1985), com capacidade de vazão média atual de $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e vazão atual de $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$.



FIGURA 13 -ETE Barueri
Fonte: SABESP

Todas as cinco ETE's apresentam o processo de tratamento com lodo ativado e em nível secundário, com eficiência de remoção de 90% da carga orgânica medida em DBO.

Muito embora a ETE Ribeirão Pires não pertença ao eixo do Rio Tietê na RMSP, seu funcionamento precário provoca poluição da Billings, contaminando o braço do Rio Grande, fonte de abastecimento da região do ABC.

O planejamento da SABESP para a ampliação da capacidade dos Sistemas Integrado e Isolado, incluindo as Etapas 2 e 3 do Projeto Tietê está apresentado na TAB. 16.

TABELA 16 - Planejamento de ampliação da capacidade dos Sistemas Integrado e Isolado.

Região	Vazão media total (m ³ /s)			
	2000	2005	2010	2011 a 2020
Suzano	1,5	1,5	2,3	3,0
São Miguel	1,5	2,5	5,0	7,0
Parque Novo Mundo	2,5	2,5	3,6	6,5
ABC	3,0	3,0	6,0	7,8
Barueri	9,5	14,3	19,0	24,2
Sistema Isolados	0,3	0,5	1,0	2,4
Total	18,3	24,3	36,9	50,90

Fonte: Plano da Bacia do Alto Tietê (FUSP,2001)

3.10.3 Tratamento da água residuária

3.10.3.1 Tratamento convencional

As ETE's da RMSP foram projetadas para operar por meio do tratamento convencional, por lodo ativado. As ETE's usam processos físicos, químicos e biológicos e operam em duas fases (Riccitelli et al,2005)

Na fase líquida, tem-se:

- 1º) tratamento preliminar, que consiste em: gradeamento (remoção de sólidos que possam obstruir bombas e tubulações); desarenação (remoção de areia);
- 2º) tratamento primário, que consiste de: peneiras rotativas (ETE-Parque Novo Mundo) e decantadores (nas demais ETE's) com objetivo de remoção dos sólidos sedimentáveis.
- 3º) tratamento secundário, que consiste em: depurar o efluente por processo biológico por meio da ação de microorganismo (bactérias heterótrofas e quimioautótrofas), sendo esse processo auxiliado por aeração, decantação e recirculação do lodo ativado.

Na fase sólida, tem-se:

- 1º) adensamento do lodo por gravidade;
- 2º) estabilização biológica em digestores de lodo;
- 3º) tratamento físico-químico nas ETE's consiste: na ETE-Barueri e ETE-São Miguel em injetar cloreto férrico como agente coagulante e a inoculação de polímero aniônico para formação de flocos maiores; na ETE-Suzano, ETE Parque Novo Mundo e ETE ABC adicionam cal (estabilização química) e cloreto férrico; desidratação mecânica por filtro prensa.

O tratamento das águas residuárias, segundo Tsukamoto (2002) tem por objetivo remover seis principais tipos de poluentes, que são:

- 1º) organismos patogênicos (vermes, protozoários, vírus e micoplasmas);
- 2º) matéria orgânica;
- 3º) sólidos em suspensão;
- 4º) nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- 5º) odor fétido (causadas por sulfetos);
- 6º) metais pesados.

Para Tsukamoto (2002), a eficácia do tratamento secundário para a remoção das substâncias orgânicas (DBO) varia conforme a composição de espécies de bactérias presentes, de sua biomassa, de sua idade e do seu metabolismo, num balanço em constante alteração a cada mudança ambiental, o que dificulta o

equilíbrio do tratamento, o que muitas vezes exige o tratamento terciário para a remoção dos nutrientes N e/ou P.

O Tratamento Terciário consiste na nitrificação e desnitrificação, uma necessidade no tratamento de águas residuárias devido ao efeito da amônia em causar sobre o corpo receptor aumento do consumo de oxigênio, além de provocar a toxidade à vida aquática e promover a eutrofização (Metcalf & Eddy, 2003). O Tratamento Terciário não é usual nos países em desenvolvimento devido ao alto custo dessa operação.

Para Tsukamoto (2002), o tratamento de esgoto tem um paradigma moderno que é o Tratamento Primário Avançado (TPA) desenvolvido pela equipe de Massachusetts Institute of Technology (MIT) coordenada pelo Dr. Donald Harleman.

O Tratamento Primário Intensificado Quimicamente (CEPT do inglês Chemically Enhanced Primary Treatment) ou Tratamento Primário Avançado (TPA), foi abreviado pelos países latinos como CEPT-TPA, sua estratégia de tratamento possibilita os maiores benefícios econômicos e ambientais, tanto na aplicação como primeira etapa ou quanto como única etapa do tratamento de esgoto.

O processo CEPT-TPA permite uma significativa depuração de todas as cargas poluentes do esgoto: organismos patogênicos, sólidos em suspensão, DBO, fósforo, H₂S, metais pesados.

O controle desse processo é totalmente automatizado e pode ser implementado em uma estrutura do tipo primário pré-existente o que assegura baixos custos de implantação e de operação.

Para Riccitelli et al, o processo permite alcançar os seguintes objetivos: maximiza a capacidade de tratamento da fase líquida em estações que estejam operando; produz mais eficiência no tratamento primário; reduz a área necessária para instalação do tratamento secundário.

3.10.3.2 Tratamento por flotação

O Projeto de Flotação consistiu no tratamento das águas do canal do rio Pinheiros por meio do processo de tratamento por flotação em fluxo contínuo.

O processo de Tratamento por Flotação e o Tratamento CEPT-TPA têm o mesmo conceito físico-químico: coagulação e floculação. Enquanto no CEPT-TPA ocorre à sedimentação, no Tratamento por Flotação provoca-se a suspensão das partículas coaguladas, por meio de injeção de mistura água-ar micropulverizada no corpo d'água, com fluxo atuando de baixo para cima em relação ao nível da água. Essa ação promove a ascensão das microbolhas que pelo seu empuxo arrastam os coágulos à superfície da água.

No sistema de tratamento de flotação em fluxo aplica a técnica de floculação e flotação por meio de 4 etapas, sendo:

1ª etapa, a retenção de resíduos sólidos;

2ª etapa, a injeção de coagulantes e polímeros (floculação);

3ª etapa, a microaeração por meio de injeção de água e ar que vão favorecer a elevação dos flocos formados até a superfície (flotação);

4ª etapa, a remoção e transporte do lodo flotado.

3.10.4 Projeto Tietê

O rio Tietê em 1989 era classificado como rio de classe 4. Nesta classe o rio é tão poluído que só serve para navegação. O rio estava morto do município de Itaquaquecetuba até o município de Salto.

O projeto Tietê nasceu em 1992, sendo a SABESP o gerenciador do projeto de despoluição do rio Tietê no trecho que compreende a RMSP, que envolve rios e reservatórios na bacia hidrográfica do Alto Tietê.

A operação do projeto pela sua magnitude foi dividida inicialmente em três etapas e contou com apoio financeiro de agências de fomento como: Banco Mundial; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID); Japan International Cooperation

Agency (JICA); Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Caixa Econômica Federal (CEF).

Segundo a SABESP, as etapas apresentaram os seguintes indicadores:

1ª Etapa: 1992 a 1998

Principais obras: Ampliação da capacidade da ETE Barueri que passou de 7 m³/s para 9,5 m³/s. Construção das ETES: São Miguel com capacidade de 1,5 m³/s, Parque Novo Mundo com capacidade de 2,5 m³/s e ABC com capacidade de 3,0 m³/s.

As obras realizadas foram redes coletoras com extensão de 1.500 km, coletores troncos com 315 km, interceptadores com 37 km, além de 250.000 ligações domiciliares. O investimento total foi de US\$ 1,1bilhão de dólares, com recurso da SABESP no valor de US\$ 450 milhões de dólares e recurso de US\$ 450 milhões do BID e os demais US\$ 200 milhões de dólares por outras agências de fomento. A coleta de esgoto passou de 70% para 81% e o índice de tratamento de 24% para 63% na RMSP.

2ª Etapa: 2002 a 2008

As principais obras foram redes coletoras com extensão de 1.426 km, coletores troncos com extensão de 165 km, interceptadores com 35 km e 324.000 ligações domiciliares. A 2ª etapa terminou com tratamento efetivo de 15,7 m³/s dentro da meta de 16 m³/s, com capacidade de 18 m³/s. A partir da estimativa de que são coletados 33 m³/s na RMSP e somente são tratados 15,7 m³/s conclui-se que ainda são despejados no rio 17 m³/s. A SABESP informa que o resultado esperado dessa etapa é passar a coleta de esgoto de 84% para 87%, e o índice de tratamento de 70% para 84%, no entanto a SABESP não informa a base da meta para cada um dos objetivos.

3ª Etapa: 2009 -2015

A SABESP apresentou a terceira fase do Projeto Tietê em 2008, com objetivo de elevar a capacidade de tratamento de esgoto de 18 m³/s para 23,9 m³/s. Solicitou ainda ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) um empréstimo de R\$ 250 milhões para completar as obras da 2ª etapa.

Este fato motivou o Ministério Público cobrar da SABESP informações sobre o nível de utilização das suas ETE`s, tendo em vista a afirmação da empresa que tratava 15,7 m³/s para uma coleta de 33 m³/s em 2000. O Ministério Público avalia que a capacidade de tratamento de esgoto das estações, construídas na 1ª etapa não estão totalmente utilizadas. Em novembro de 2008, a SABESP apresentou um relatório ao BID onde afirmou que havia alcançado 83% da meta de 33 m³/s para o esgotamento sanitário e alcançado 68% do esgoto.

A 3ª etapa do Projeto Tietê, segundo a SABESP está em negociação e terá vigência até o ano de 2015. Nela será investido cerca de US\$ 1,05 bilhões de dólares. O objetivo é dar continuidade à melhoria da qualidade ambiental da bacia do Alto Tietê, por meio da ampliação da infra-estrutura de coleta e tratamento de esgoto. Nesta fase, mais de 1,5 milhões de pessoas serão beneficiadas com a coleta de esgoto e mais de 3 milhões de pessoas terão esgotos tratados. As obras previstas são 580 km de coletores tronco e 1.250 km de interceptores de redes de coletoras além de 200 mil ligações; ampliação da capacidade de tratamento de esgotos em 7,4 m³/s. Os principais benefícios esperados para essa etapa são ampliações da coleta de esgoto que passará de 84% para 87% , o aumento do tratamento dos esgotos coletados de 70% para 84% e a redução da carga orgânica lançada no rio Tietê à montante da Barragem de Pirapora.

3.11 Projeto de Flotação

O Projeto de Flotação, apresentado pela EMAE por meio do empreendimento denominado Sistema de Melhoria da Qualidade das Águas do Complexo Hidroenergético Pinheiros-Billings para fins de Uso Múltiplo à Secretaria de Estado do Meio Ambiente deu origem ao processo 13.771/2004, que consistiu no “Plano de Trabalho para a Execução do Estudo de Impacto Ambiental”, para a elaboração do Termo de Referência para o Estudo do Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

O tratamento das águas do canal do rio Pinheiros e de alguns afluentes consiste da tecnologia denominada de Flotação em Fluxo.

Devido a sua importância, houve a oitiva da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura de São Paulo, da Câmara Técnica de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, do Conselho Estadual do Meio Ambiente, do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e os subcomitês envolvidos no processo.

O sistema de tratamento será objeto de licenciamento da CETESB para a concessão da licença de instalação e de funcionamento (SMA, 2004).

O projeto prevê a implantação de sete estações de tratamento em duas etapas:

A 1ª etapa do empreendimento terá duas Estações de Flotação e Remoção de Fluentes (EFRF), são elas: EFRF Pedreira, de 10 m³/s (E₂); EFRF Zavuvus, de 10 m³/s (E₁), as citadas estações já foram licenciadas pela CETESB.

A 2ª etapa do empreendimento prevê a instalação de sete estações de tratamento, sendo três de grande porte ao longo de 25 km do rio Pinheiros, são elas: EFRF do Retiro, de 40 m³/s; EFRF de Traição, de 45 m³/s e EFRF de Pedreira de 50 m³/s.

3.11.1 Projeto QAPB :Avaliação da operação do protótipo de flotação do sistema Pinheiros-Billings

O estudo do impacto da reversão do rio Pinheiros na qualidade das águas do reservatório Billings consistiu na análise dos resultados produzidos pelo protótipo implantado a montante da Usina Elevatória da Pedreira, no período de setembro de 2007 a setembro de 2008. Esse estudo recebeu o nome oficial de “Convênio de cooperação técnico-científica para o desenvolvimento do projeto de avaliação da qualidade das águas do sistema Pinheiros-Billings em função da operação do protótipo da flotação”, doravante designado por projeto QAPB. O projeto QAPB é resultado de uma parceria entre a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE), através de um convênio de cooperação firmado em agosto de 2007.

3.11.2 Processo de flotação

O processo é idêntico ao empregado nas ETA's e em ETE's, para o tratamento de águas poluídas e tem como objetivo remover poluentes de natureza física, química e biológica, para o enquadramento da água na classe 2, definida pela Resolução CONAMA 20/86 e CONAMA 357/2005, as quais permitem o seu uso da água no abastecimento doméstico (após tratamento), irrigação de plantas frutíferas e hortaliças, na recreação de contato primário (natação, mergulho e esqui).

3.11.2.1 Etapas do processo:

1ª etapa: retenção de resíduos sólidos

2ª etapa: aplicação de sulfato de alumínio e cloreto férrico

3ª etapa: micro-aeração

4ª etapa: remoção do lodo.

3.11.2 .2 Parâmetros de eficiência do tratamento

A eficiência na remoção de diversos poluentes ficará demonstrada no resultado do processo de flotação, pelos parâmetros adotados pela CETESB, que são: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

3.11.2.3 Volume bombeado para o reservatório Billings

A operação do Protótipo de Flotação no período de setembro/2007 até setembro/2008 sofreu freqüentes interrupções no seu funcionamento de flotação para operar o controle de cheia. Na FIG. 14, pode-se observar a variação do volume bombeado para o reservatório durante este período.

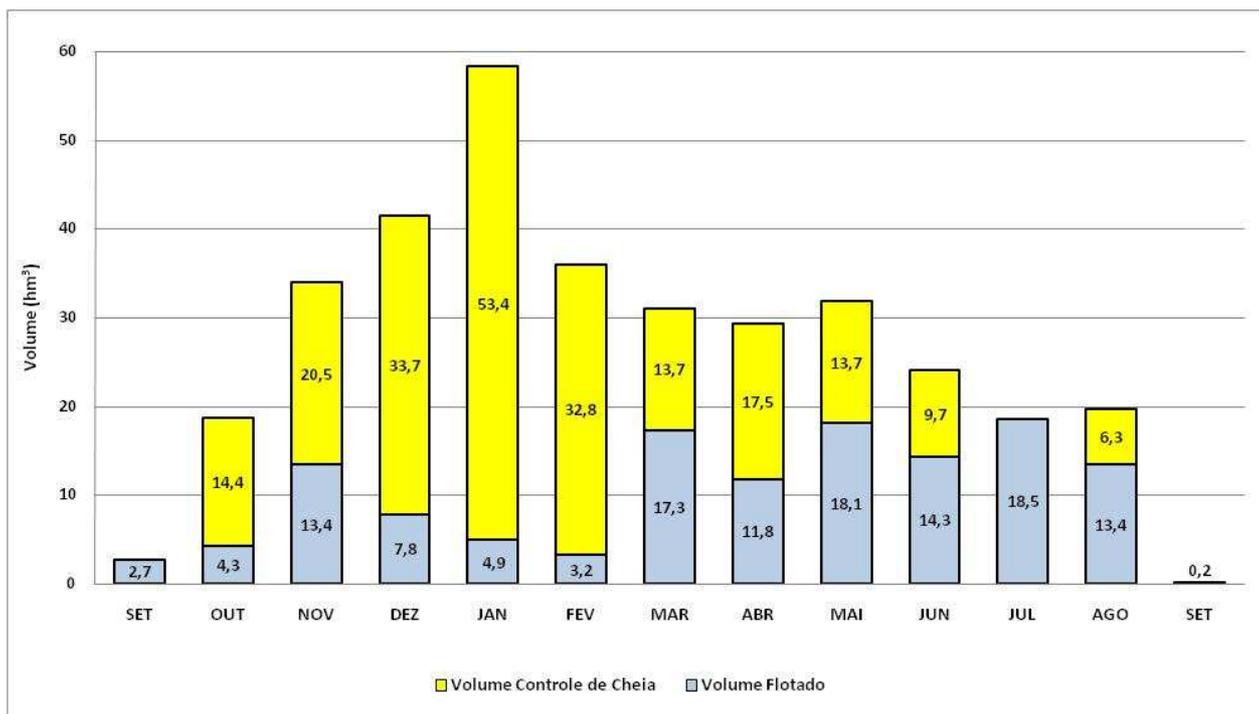


FIGURA 14- Operação do protótipo em flotação e controle de cheia
Fonte:FCTH

3.12 Energia

3.12.1 Energia Elétrica no BRASIL

O Brasil apresenta uma matriz de geração de origem predominantemente renovável, com aproximadamente 75% da oferta sendo atendida por geração interna de energia hidráulica. Somando-se às importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que mais de 80% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis – sem considerar que parte da geração térmica é originada de biomassa. Na média mundial, fontes renováveis correspondem a apenas 18,3% da geração de eletricidade (EPE, BEN - 2005).

Em 2007, com acréscimo de aproximadamente 3,8 GW, a capacidade instalada das centrais de geração de energia elétrica do Brasil superou os 100 GW, atingindo 100,4 GW na soma das centrais de serviço público e autoprodutoras. Deste total, é importante salientar que o acréscimo de energia por centrais hidráulicas foi de 90% da capacidade adicionada (EPE, BEN - 2008).

No Brasil o valor de 45,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) teve origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa taxa é de 12,9% e nos países membros da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) é de apenas 6,7%. Desta participação da energia renovável 15,9% corresponderam aos produtos originados da cana-de-açúcar (bagaço de cana para fins térmicos e geração de eletricidade, além do melaço e caldo utilizados para produção de etanol) e 14,9% correspondem à geração hidráulica. Os 54,1% restantes da Oferta Interna de Energia (OIE) vieram de fontes fósseis e outras não renováveis (EPE, BEN - 2008).

Tal característica particular do Brasil resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica desde a década de 50 e de políticas públicas adotadas após a segunda crise do petróleo, ocorrida em 1979, visando à redução do consumo de combustíveis oriundos dessa fonte e dos custos correspondentes a sua importação, à época, responsáveis por quase 50% das importações totais do País.

A indústria de energia elétrica também desenvolveu tecnologias no campo da construção e operação de grandes centrais hidrelétricas, bem como na operação de sistemas de transmissão a grandes distâncias e em corrente contínua. Seu parque gerador de eletricidade foi aumentado de 11 GW em 1970, para 30,2 GW em 1979 e superando os 100 GW em 2007 (EPE, BEN - 2008).

Somente em usinas hidrelétricas, a capacidade instalada atingiu em 2007 o valor próximo a 77 GW. A geração de energia elétrica no Brasil, em centrais de serviço público e de autoprodutoras, atingiu 444,6 TWh em 2007, resultado esse 6,0% superior ao de 2006. Permanece como principal a contribuição de centrais de serviço público, com aproximadamente 90% da geração total. Nestas, a principal fonte é a energia hidráulica, que apresentou crescimento de 7,0% na comparação com 2006. A geração pública a partir de combustíveis apresentou um decréscimo de 8,8%, com redução expressiva na geração a partir da energia nuclear (-12,3%) e do gás natural (-18,6%) (EPE, BEN - 2008).

A geração de autoprodutores em 2007 apresentou crescimento de 13,1% com relação ao ano anterior, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas. Importações líquidas de 41,4 TWh, somadas à geração interna, permitiram uma oferta interna de energia elétrica de 483,4 TWh, montante 5,0% superior à oferta de 2005. Embora o consumo final total tenha crescido a uma taxa superior (5,7%), a redução das perdas nos sistemas elétricos possibilitou que o crescimento no consumo final fosse atendido por um menor crescimento proporcional na oferta de energia (EPE, BEN - 2008).

Hoje é notório o entendimento de que a energia é um vetor de desenvolvimento econômico e social, visto que existe uma correlação entre a Oferta Interna de Energia (OIE) e o Produto Interno Bruto (PIB) sendo essa correlação medida em tonelada equivalente de petróleo (tep) por mil dólares (mil US\$).

Essa análise pode ser obtida por meio dos documentos disponibilizados pelo Departamento de Energia do Governo dos Estados Unidos (U.S Department of Energy-DOE), pela sua unidade de estatística (Energy Information Administration-EIA), em especial nas publicações "International Energy Outlook-IEO 2008 e Annual Energy Review 2008" (EPE, BEN - 2008).

O desenvolvimento sócio-econômico de um país pode ser medido pela Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) per capita (kWh/hab) e pela eficiência da transformação da energia em produção econômica, isto é, Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) por PIB (kWh/mil US\$). Tal análise pode ser realizada utilizando-se os dados apresentados no Balanço Energético Nacional na TAB. 17 (Evolução dos Indicadores) e na FIG. 15, Oferta Interna de Energia Elétrica (EPE, BEN - 2009).

TABELA 17 – Evolução dos Indicadores

Principais Parâmetros	Unidade	1970	1980	1990	2000	2007	2008
Oferta Interna de Energia	10 ⁶ tep	66,9	114,8	142,0	190,6	238,8	252,2
Oferta Interna de Eletricidade ¹	TWh	45,7	139,2	249,4	393,2	483,4	496,4
População ²	10 ⁶ hab	93,1	118,6	146,6	171,3	189,3	191,9
PIB ³	10 ⁹ US\$	347,2	794,2	928,4	1.187,2	1.496,3	1.572,6
Principais Indicadores	Unidade	1970	1980	1990	2000	2007	2008
PIB per capita	US\$/hab	3.727	6.698	6.333	6.931	7.903	8.196
OIE per capita	tep/hab	0,718	0,968	0,969	1,113	1,261	1,314
OIE por PIB	tep/10 ³ US\$	0,193	0,145	0,153	0,161	0,160	0,160
OIEE per capita	kWh/hab	491	1.174	1.701	2.296	2.553	2.587
OIEE por PIB	kWh/10 ³ US\$	132	175	269	331	323	316

¹ Inclui autoprodução

² Estimativa do IBGE para a população residente em 1º de julho de cada ano

³ Preços de 2008

Fonte: EPE, BEN -2009

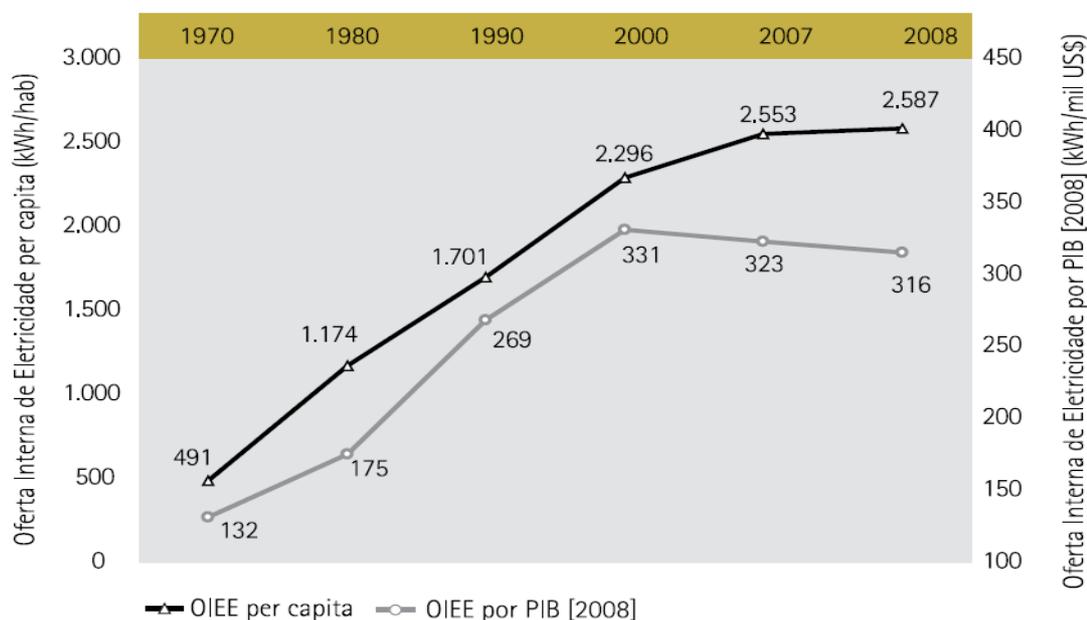


FIGURA 15 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) per capita

Fonte: EPE, BEN - 2009

Na análise da OIEE per capita (kWh/hab) em três cenários, tem-se:

1º Cenário: 1970 – 1980

$$kWh / hab(1970) = 491$$

$$kWh / hab(1980) = 1.174$$

Taxa de crescimento da OIEE per capita= 9,10 % a.a

2º Cenário: 1980 – 2000

$$kWh / hab(1980) = 1.174$$

$$kWh / hab(2000) = 2.296$$

Taxa de crescimento da OIEE per capita = 5,27 % a.a

3º Cenário: 2000-2008

$$kWh / hab(2000) = 2.296$$

$$kWh / hab(2008) = 2.587$$

Taxa de crescimento da OIEE per capita= 1,50 % a.a

Da análise dos três cenários se conclui a importância sócio-econômica da energia elétrica como um vetor de desenvolvimento, visto que, quando ocorre redução do percentual de oferta de energia elétrica para a população ocorre também redução na relação OIEE por PIB. Conclui-se ser necessário um extraordinário acréscimo de OIEE para que haja um significativo aumento do PIB do país.

3.12.2 Crise de Energia Elétrica

O apagão de energia elétrica ocorrido entre 2001 e 2002 custou aos brasileiros R\$ 45,2 bilhões de reais. Esta é a afirmação do Tribunal de Contas de União (TCU) que divulgou relatório sobre os efeitos daquela crise nas empresas, no governo e para os consumidores. Segundo o TCU, a maior parte do prejuízo foi paga pelos contribuintes. Os consumidores pagaram 60% do prejuízo do apagão de energia por meio de aumentos nas contas, o chamado repasse tarifário de percentual equivale a R\$ 27,12 bilhões de reais. O restante foi custeado pelo

Tesouro Nacional, o que também onerou os contribuintes. O relatório lembra que o Tesouro fez aportes em diversas companhias por meio do BNDES e a Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE) - empresa criada durante a crise para administrar o valor do "seguro apagão", quantia cobrada dos consumidores para fazer frente a eventuais dificuldades no setor. O tribunal concluiu ainda que os R\$ 45,2 bilhões reais permitiriam a construção de seis usinas como a hidrelétrica de Jirau, que será erguida no rio Madeira (Basile, 2009).

3.12.3 Energia Elétrica na Cidade de São Paulo

Em 1900, a população de São Paulo era de 239.820 habitantes no que foi suprida a partir de 1901 pela Usina Hidroelétrica de Parnaíba, com capacidade de 16.000 kW. Devido ao rápido crescimento de São Paulo essa potência revelou-se insuficiente para a cidade, pois em 1920 já apresentava 579.033 habitantes.

No entanto, o problema do rápido crescimento criou oportunidades de negócios e em 1922 a companhia "Light" como os brasileiros chamavam The São Paulo Railway, Light and Power Co.Ltd, projetou e construiu a "Usina da Serra", com o concurso do engenheiro canadense Asa White Kenney Billings.

Essa oportunidade nasceu do decreto federal nº 3.349, o qual o Presidente Campos Sales assinou em 17 de julho de 1899, autorizando a funcionar no Brasil a The São Paulo Railway, Light and Power Co. Ltd, com os seguintes objetivos: estabelecer, construir, completar e fazer funcionar obras para produção, utilização e venda de eletricidade gerada por vapor e força motora elétrica, a gás, pneumática, mecânica e hidráulica ou outra força qualquer para qualquer fins.

A empresa logo modificou o seu nome para The São Paulo Tramway Light and Power Co. Ltd para evitar confusão com o nome da ferrovia Santos-Jundiaí, que na época se denominava São Paulo Railway. A "Light" inaugurou a Usina da Serra em 1926, a qual posteriormente passou a ser chamada de Usina de Cubatão. No ano de 1950 produziu 88 % da energia gerada pelo Sistema de São Paulo, isto é: 2.988.367.900 kWh (Radesca,1965).

3.12.4 Usina Henry Borden

Para a construção da Usina da Serra em 1922 foram edificadas barragens na cumeada da Serra do Mar e foi represado o braço do Rio Grande com o desvio de suas águas para o leito do rio das Pedras vindo a formar um reservatório apto a atender a primeira etapa da Usina (FCTH, 2009).

A represa do rio das Pedras foi bloqueada por uma barragem de concreto com 25 m de altura e 126 m de comprimento e suas águas atingiram a Casa de Válvulas e em seguida após passarem por duas válvulas borboletas através de oito condutos externos que descem à encosta da serra atingem as turbinas no pé da serra. Esta é a usina mais antiga conhecida como Usina Externa ou Usina Cubatão, cuja primeira unidade foi inaugurada em 10 de outubro de 1926, com produção de 28.000 kW. As demais unidades foram instaladas até 1950, num total de oito grupos de geradores, sendo que cada gerador é movido por duas turbinas tipo Pelton totalizando a potência de 469 MW (EMAE).

A Usina Henry Borden é formada pela Usina Externa e Usina Subterrânea com a potência total instalada de 889 MW_{el} devido um fluxo de vazão de 157 m³/s.

Para aumentar a capacidade de geração da Usina Henry Borden foram realizadas as obras de retificação e reversão do rio Pinheiros (essa operação foi concebida por Billings em 1927 e a concessão da reversão dada pelo decreto federal nº 22.008 de 20 de outubro de 1946) e as operações das usinas elevatórias ocorreram em 1939, a elevatória de Pedreira e em 1940, a elevatória de Traição.

O bombeamento das águas do canal de Pinheiros para o reservatório Billings sofreu alterações significativas nestes últimos 70 anos devida a Resolução Conjunta SMA-SES 3, de 1992, apresentada pela TAB. 18.

TABELA 18 - Vazões turbinadas na Usina Henry Borden nos períodos de 1939-1991 e 1993-2000

Mes	1939-1991	1993-2000
Jan	62,3	40,7
Fev	64,9	44,5
Mar	62,0	40,6
Abr	58,8	24,0
Mai	57,1	18,1
Jun	59,1	18,2
Jul	58,5	14,2
Ago	58,9	19,7
Set	58,7	12,4
Out	60,4	17,4
Nov	62,1	19,3
Dez	62,0	28,0
Média	60,4	24,8

Fonte: Plano da Bacia Alto Tietê (2001)

Atualmente a usina é administrada pela EMAE, gerando 108 megawatts médios com variações que vão de 34 MW_{el} correspondendo ao turbinamento com vazão de 6 m³/s, até 800 MW_{el} correspondendo à vazão de 140 m³/s, no horário de pico entre 18-21 horas (EMAE).

Segundo Zancheta (2005) a importância estratégica da Usina Henry Borden é que a mesma está localizada no maior "centro de carga" do país, podendo suprir a demanda de emergência da cidade de São Paulo em áreas prioritárias tais como, o sistema de transporte eletrificado (metro e trem eletrificado) e os maiores hospitais.

3.12.5 Energia Elétrica no Estado de São Paulo

O estado de São Paulo está em posição crítica pelo fato de seu consumo elétrico residencial ter sido de 29.685 GWh (2007), isto é, 32,7 % do consumo nacional de 90.881 GWh, enquanto sua produção de energia elétrica é de 14,13%, isto é, 62.821 GWh, contra a produção nacional de 444.583 GWh (EPE, BEN - 2007).

O potencial hídrico remanescente no Estado de São Paulo é de 1.491 MW a ser explorado por meio de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), visto que, a totalidade dos potenciais das hidrelétricas de grande porte já foram aproveitados

e sua capacidade de geração de energia elétrica instalada está estabilizada desde 2003 (SSE, 2007).

Por outro lado conforme informa a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no “Resumo Geral dos Novos Empreendimentos de Geração”(Abril/07) das 45 usinas hidrelétricas (13.102 MW) licitadas entre 1998 a 2002, 18 usinas estão em operações (8.352 MW), 11 usinas estão em construção (3.174 MW), 6 usinas não foram iniciadas mas apresentam licenciamento ambiental e 10 usinas não foram iniciadas e não têm licenciamento ambiental.

3.12.6 Usinas no rio Tietê

As informações sobre as Usinas¹ no rio Tietê são descritas:

A primeira usina no percurso do rio Tietê foi à usina de Salesópolis, localizada em Cachoeira dos Freires, que teve início de operação em 1913, com capacidade instalada de 2500 kVA e encontra-se hoje desativada.

Na seqüência do fluxo do rio, a primeira usina hidrelétrica a abastecer a cidade de São Paulo foi a Usina de Parnaíba (hoje barragem Edgard de Souza), situada na cachoeira do Inferno em Santana de Parnaíba, e inaugurada em 1901 com capacidade de 2000 kW, e ampliada até a capacidade de 16.000 kW em 1912.

A usina de Lavras foi a segunda usina hidrelétrica construída no leito do rio Tietê. A usina fornecia energia elétrica para a cidade de Itú, foi instalada em 1906, em 1929 ao ser inundada provocou a degradação de seu sistema de produção e atualmente está desativada.

Em 1925, foi inaugurada a usina de Rasgão, a jusante da cidade de Pirapora do Bom Jesus, com capacidade de 14.000 kW, ainda hoje em operação.

A Usina de Barra Bonita foi a primeira Usina a ter eclusa, foi instalada em 1964 com capacidade de 140 MW, gerada por 4 turbinas Kaplan e está localizada entre os Municípios de Barra Bonita e Igarapu de Tietê.

¹ <http://www.riotiete.com.br/usinas.html>

A Usina Álvaro de Souza Lima está localizada no Município de Bariri, contém eclusa, sua instalação ocorreu em 1969, com potência de 144 MW gerada por 3 turbinas Kaplan.

A Usina Mario Lopes Leão está localizada no Município de Promissão contém uma eclusa. Sua instalação ocorreu em 1977, com potência de 264 MW, geradas por 3 turbinas Kaplan.

A Usina Nova Avanhandava está localizada no Município de Buritama, contém duas eclusas, sua instalação ocorreu em 1985 com potência de 345 MW, gerada por 3 turbinas Kaplan.

A Usina Três Irmãos está localizada no Município de Itapura, contém duas eclusas, sua instalação ocorreu em 1999, tem potência para gerar 1292 MW por 8 turbinas Francis. No presente estão em funcionamento 5 turbinas que geram 807,5 MW.

3.2.7 Cenário do rio Tietê

As informações sobre a implantação das Usinas no rio Tietê a partir da década de 60 são apresenta TAB.19:

TABELA 19 – Usinas no rio Tietê

USINA	POTÊNCIA (kW)	INÍCIO DE OPERAÇÃO
Barra Bonita	141.000	1963
Bariri	143.000	1965
Ibitinga	132.000	1969
Promissão	264.000	1975
Nova Avanhandava	347.000	1982
Três Irmãos	807.500	1993, com implantação da última turbina em 1999

Das informações concluiu-se que até o ano de 2009 nenhuma usina isolada construída sobre o leito do Rio Tietê produzia a potência de 889 MW_{el}, que é passível de ser gerada pela Usina Henry Borden. O caminho das águas (FIG.16) apresenta duas alternativas as quais produzem energia elétrica, uma pelo caminho do leste envolvendo uma altura de carga $\Delta h = 720$ m, na Serra do Mar, o outro caminho do oeste pelos rios Tietê e Paraná, o qual apresenta um valor para a soma das alturas de carga de todas as usinas muito inferior àquela.

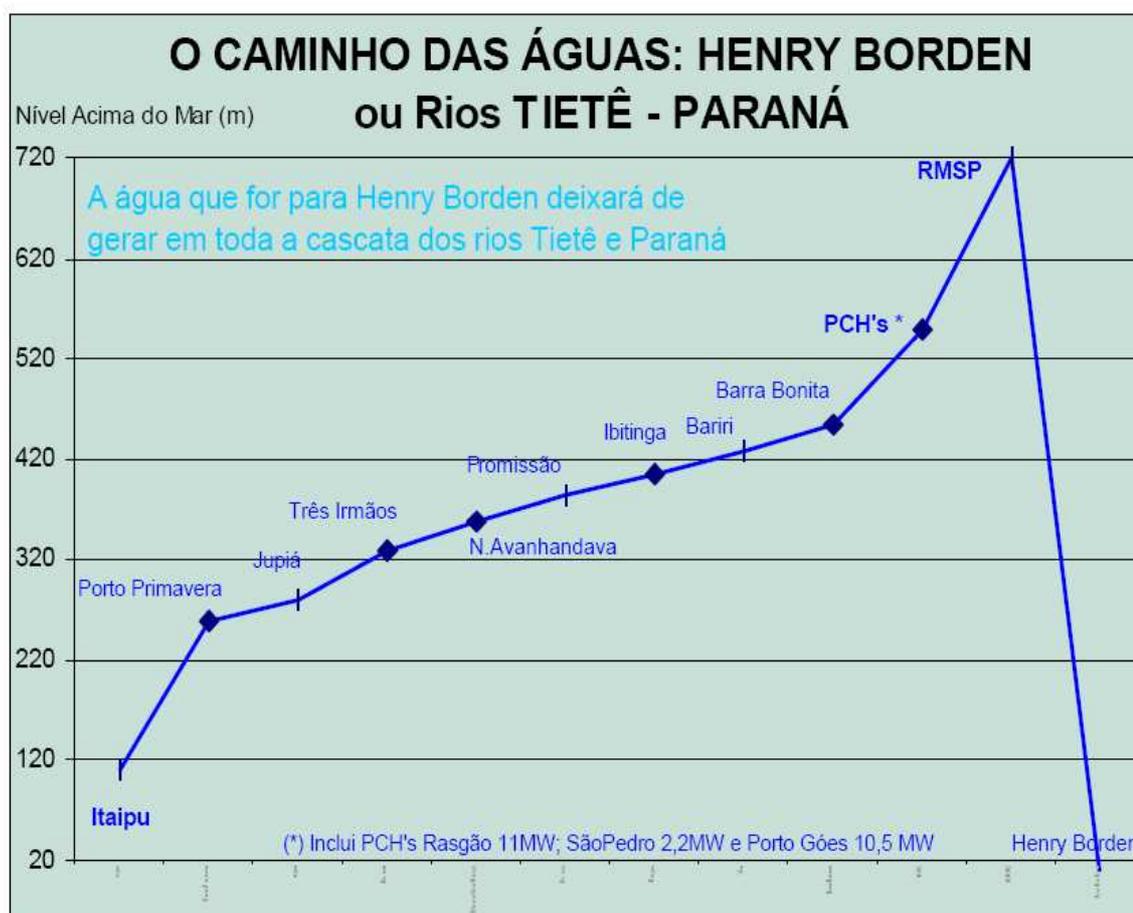


FIGURA 16 – O Caminho das Águas

Fonte: USP- Interunidade de Pós-Graduação em Energia (2001)

4- METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi inspirada no Sistema Toyota de Produção (STP), a qual é norteada por dois princípios:

O 1º Princípio é o Kaizen: cuja aplicação leva ao método científico, com o qual se procura obter a melhoria contínua em métodos e processos.

O 2º Princípio é o Hansei: a filosofia para o Ser Humano, que consiste da reflexão incansável com que o indivíduo age com um grupo de pessoas, de modo a manifestar a persistência no objetivo do trabalho, a flexibilidade para aprender novos conceitos, a auto-reflexão (análise crítica de seus erros) e a responsabilidade individual (OHNO, 1997).

George Yamashima vice-presidente da Toyota Technical Center, diz que : ``Sem o Hansei é impossível ter o Kaizen``.

Para nós ocidentais, um conceito muito tênue ao Hansei seria ter ``ÉTICA PROFISSIONAL`` no seu mais amplo espectro de qualidade humana.

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de quatro bases de informações, as quais são:

1º Os dados técnicos dos projetos: Programa de Tratamento de Esgoto para a Grande São Paulo (SANEGRA,1975); Plano Integrado de Aproveitamento de Recursos Hídricos das Bacias: Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista (HIDROPLAN,1995) (FIGUEIREDO FERRAZ,1996);Plano da Bacia do Alto Tietê (FUSP, 2001)(PORTO,2003); Avaliação da Qualidade da Águas do Sistema Pinheiros-Billings (Projeto QAPB)(FCTH, 2009);

2º Os dados técnicos foram obtidos por meio das empresas: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A (EMAE) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE);

3º Os conceitos científicos dos pesquisadores Prof. Karl Imhoff; Prof. José Martiniano de Azevedo Netto e Prof. Thomas L. Saaty.

4º O Método Analitic Hierarchy Process (AHP) (ZUFFO, 1998).

4.1 Método AHP – - Analitic Hierarchy Process

O Método AHP (do inglês “Analitic Hierarchy Process”) foi desenvolvido por Saaty e seus colaboradores Bennett (1977) e Mariano (1979), teve o seu início em 1972, num estudo para o National Science Foudation (NSF) sobre o racionamento de energia para indústrias. A maturidade aplicativa do método chegou com o Estudo dos Transportes dos Sudão (1973) e o grande enriquecimento teórico ocorreu entre 1974 e 1978 (Jordão et al., 2006).

O AHP é um método simples e confiável e tem sido amplamente utilizado para auxiliar os processos de decisão para os mais diversos fins, tais como, em Economia – Finanças (Planejamento Estratégico, Alocação de Recursos – Análise Investimentos – Avaliação de Aquisições – Marketing – Benchmarking – Jogos de Guerra); Problemas sociais (Educação – Medicina – Comportamento em Competição); Problemas Tecnológicos (Transferência de Tecnologia – Seleção de Mercado, Clientes e Fornecedores).

O AHP, segundo Saaty (1991), tem o propósito de apresentar uma metodologia para modelagem de problemas desestruturados nas atividades econômicas, sociais e gerenciais.

Para Saaty, o teste final para uma nova ferramenta matemática é a sua naturalidade e facilidade para o entendimento e também o quanto ela se adapta à teoria já existente. Deve-se levar em consideração que a solução de problemas pela tomada de decisão pode adotar recomendações que venham deixar todo um sistema mais prejudicado do que era anteriormente. Com o objetivo de torná-lo prático, um sistema é sempre considerado em termo de estrutura, isto é, de acordo com a organização física, biológica, social e até psicológica de suas partes, e de acordo com o fluxo de material e pessoas que definem as relações e

a dinâmica de estrutura, além da função de acordo com as funções a que os componentes do sistema devem servir.

O método baseia-se na hierarquia. Uma hierarquia é um tipo particular de sistema cujo conceito prevê que um elemento de cada grupo (nível hierarquia) influencie os elementos de um outro grupo (outro nível hierárquico).

A estrutura do método pode ser depreendida do exemplo da FIG. 17, segundo Almeida (2002). A FIG. 17 ilustra a escolha de helicópteros para apoio logístico às unidades marítimas da bacia de Campos.

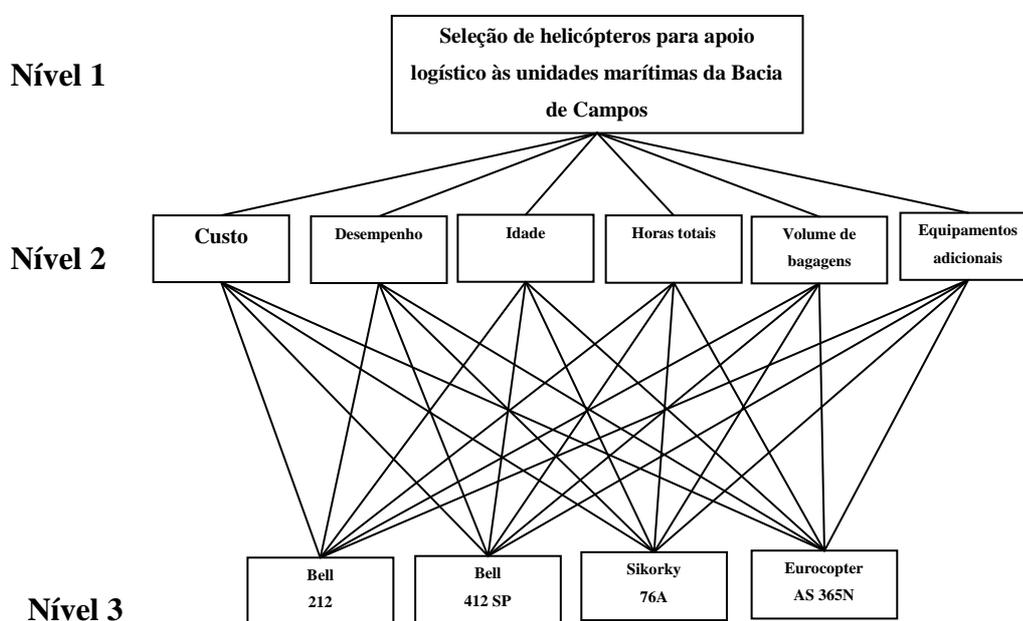


FIGURA 17-Aplicação do Método AHP à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo “ Offshore” (Almeida, 2002).

O método segundo Saaty (1991) reflete a forma como a mente humana age. Identificam-se objetos ou idéias e suas inter-relações. Quando se identifica alguma coisa, decompõe-se a complexidade encontrada. Quando se descobrem as relações sintetizam-nas. Esse é o processo fundamental da percepção ou seja, decomposição e síntese (Almeida, 2002).

A questão central do método é identificar com peso os fatores individuais do nível mais baixo de uma hierarquia que influenciam seu objetivo geral, estes fatores podem ser tangíveis ou intangíveis.

Avalia-se a importância de uma característica sobre outra, utilizando-se para isso uma escala adequada. Saaty propõe a utilização de uma escala segundo a intensidade de importância dos fatores, segundo a TAB. 20.

TABELA 20 - Escala proposta por Saaty

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Menos importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida; sua dominação de importância é demonstrado na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8 Recíprocos dos valores acima	Valores intermediários Se a análise recebe um dos valores acima, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco de i.	Quando se deseja maior compromisso Uma designação razoável
Racionais	Razões de Escala	Se a consistência tiver de ser forçada pra obter n valores numéricos para completar a matriz.

Fonte: Saaty (1991)

O procedimento do método é explicado a seguir:

Consideram-se as características (critérios de análise) K_1 e K_2, \dots, K_n , que definem os conjuntos que serão julgados-quantificados aos pares: K_i e K_j que produzirão uma matriz de ordem $n \times n$.

$A = (a_{ij})$ onde i e $j = 1, 2, \dots, n$

Os elementos da matriz "A" são definidos pelas regras:

Regra 1: Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = \left(\frac{1}{\alpha}\right)$, $\alpha \neq 0$

Regra 2: Se K_i é julgado como de igual importância relativa a K_j , então $a_{ij}=1$ e $a_{ji}=1$, além de todo $a_{ii}=1$.

Tem-se a matriz A :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Preenchida a matriz comparação, calcula-se o seu autovetor “w” e o seu autovalor “ λ ”.

Segundo Pamplona (1999), o autovetor dá a ordem de prioridade ou hierarquia das características estudadas. O autovalor é uma medida que permitirá avaliar a consistência ou qualidade da solução obtida. Essa é uma grande vantagem do método, a possibilidade de verificação da consistência pela equação (14).

$$A.w = \lambda_{\text{máx}} . w \quad (14)$$

A matriz “A” de comparações entre características tem w seu autovetor e $\lambda_{\text{máx}}$ o autovalor (com $\lambda_{\text{máx}} \geq n$, “n” = número de características), sendo o vetor T resultado do autovetor w normalizado, o qual será utilizado para priorizar o “OBJETIVO”, frente a cada uma das características.

Para testar a consistência da resposta, que indica se as características estão logicamente relacionadas, Saaty (1977) propõe o seguinte procedimento:

Calcula-se o autovalor $\lambda_{\text{máx}}$, por meio da equação (15):

$$\lambda_{\text{máx}} = T.w \quad (15)$$

O vetor w é constituído de n componentes, sendo cada componente uma característica, o peso de cada característica é obtido pela soma das componentes que formam a coluna da matriz de comparação.

A seguir, calcula-se o Índice de Consistência (IC), por meio da equação (16)

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}c} - n)}{n - 1} \quad (16)$$

A consistência da resposta é definida pela Razão de Consistência (RC), calculada pela equação (17)

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (17)$$

O índice Randômico (IR) é resultado de estudo realizado por Saaty em uma amostragem de 500 matrizes recíprocas positivas geradas aleatoriamente, de ordem “n”, o valor desse índice IR foi calculado até a ordem n=11 em Wharton School (University of Pennsylvania) e o índice IR de n=12 até 15 foi calculado por cientistas do Laboratório Nacional de Oak Ridge, é dado segundo a TAB. 21.

Tabela 21 - Valores de IR em função da ordem “n” da matriz

Dimensão da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Índice IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1991)

Quando a razão de consistência (RC) apresentar resultado numérico menor que 0,10 , este fato significa que as características estão logicamente relacionados, quando o resultado de RC for maior que 0,10 , então deve-se rever a matriz de comparação das características, até ajustar ao valor de RC de consistência.

A solução é, a classificação do objetivo (Matriz Objetivo), obtida por meio da multiplicação entre matrizes, a matriz W_u (peso normalizado dos ‘Usos’ para cada características K_i) com a matriz do autovetor T (formada por peso normalizado de cada característica).

4.2 Projeto QAPB: Avaliação da operação do protótipo de flotação do sistema Pinheiros-Billings

O estudo do impacto da reversão do rio Pinheiros na qualidade das águas do reservatório Billings consistiu na análise dos resultados produzidos pelo protótipo implantado à montante da Usina Elevatória da Pedreira, no período de setembro de 2007 a setembro de 2008. Esse estudo recebeu o nome oficial de “Convênio de cooperação técnico-científica para o desenvolvimento do projeto de avaliação da qualidade das águas do sistema Pinheiros-Billings em função da operação do protótipo da flotação”, doravante designado por projeto QAPB.

O projeto QAPB é resultado de uma parceria entre a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE), através de um convênio de cooperação firmado em agosto de 2007.

O histórico da operação encontra-se no projeto QAPB destacando-se as interrupções devidas aos seguintes motivos:

- 1) Interrupção da flotação para realização da operação de controle de cheias no rio Pinheiros. Esse tipo de interrupção, não é considerada falha da flotação, pois ocorre devido ao aumento considerado da vazão do rio, muito superior aos 10 m³/s da estação de flotação. Ao final de episódios de cheias, há necessidade de limpeza da calha do rio, o que acarreta prolongamento do período de tempo sem operação da flotação, em torno de 48 horas.
- 2) Com relação ao período de 48 horas ao final do controle de cheias, dois critérios foram considerados para constatar ou não uma falha de operação do sistema. Primeiro, se a flotação voltar a ser operada antes desse intervalo de tempo, então o tempo decorrido em horas é contabilizado como horas de flotação. Porém, se a flotação não voltar à ativa após 48 horas, então deste ponto em diante considera-se que ocorreu falha de

operação da flotação. Por exemplo, se a flotação voltar a funcionar 50 horas após o controle de cheias, computa-se 2 horas de falha.

- 3) Paradas para manutenção e/ou conserto de equipamentos e dispositivos associados a flotação (vazamento em tubulações e mangotes, bombas de sucção de lodo, etc.).

4.2.1 O funcionamento

O protótipo de flotação contém duas estações, denominadas E_1 e E_2 , sendo que E_1 está a 4.070m da Usina Elevatória de Pedreira, enquanto que E_2 está a jusante de E_1 e encontra-se a 770m da mesma Usina.

Na FIG. 18 pode-se visualizar o processo onde ocorrem as etapas de: ação química, processo de floculação, flotação por ar dissolvido e remoção dos sólidos flotados.

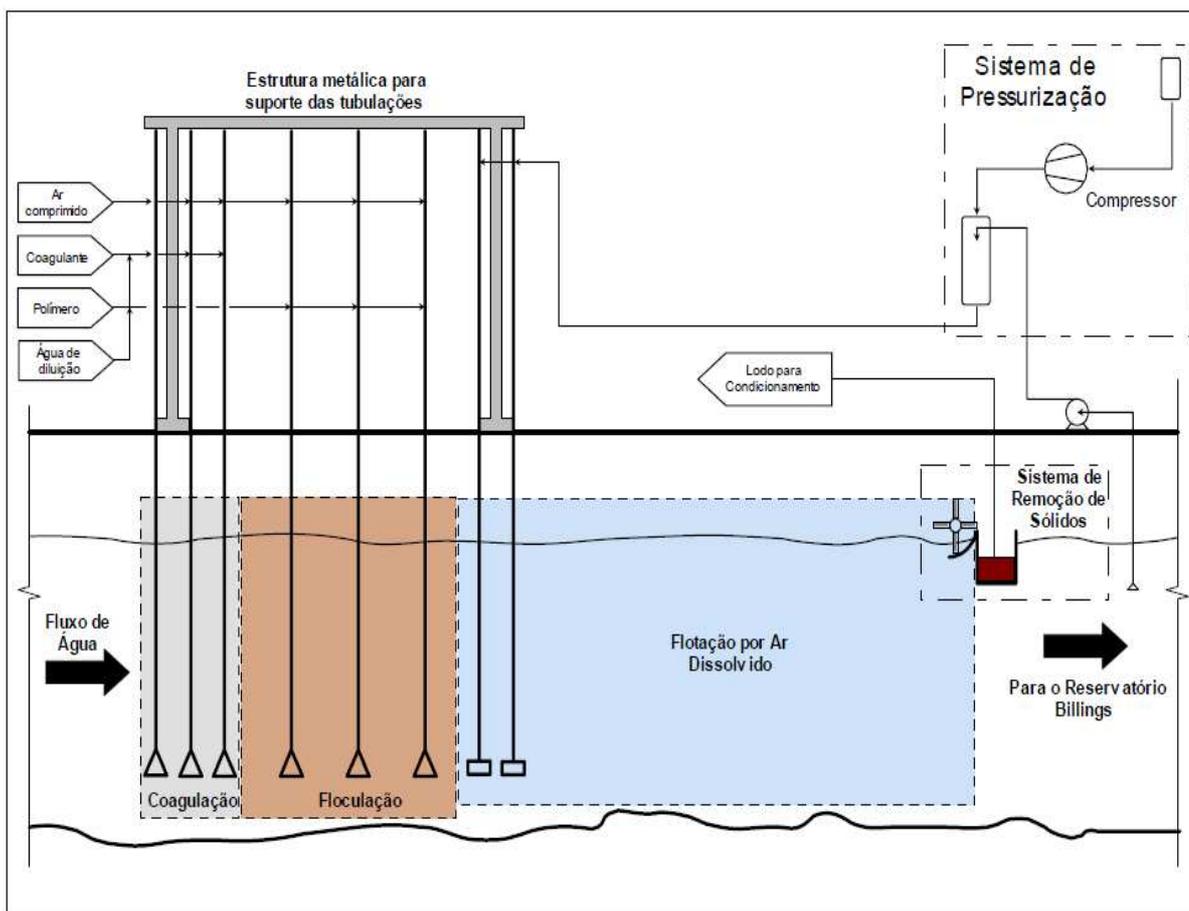


FIGURA 18- Esquema do processo de flotação do rio Pinheiros

Fonte: FCTH (2009)

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Viabilidade Ambiental da operação de flotação

A análise da viabilidade ambiental foi precedida pela quantificação da carga poluente equivalente total (p.e.t) em DBO/dia que tenha ocorrido em 2008, com o objetivo de se definir qual deveria ser a capacidade de tratamento de esgoto pela ETE's da RMSP. Para tanto o estudo considerou o projeto SANEGRAN como paradigma deste cálculo.

Os dados técnicos do projeto SANEGRAN usados foram :

Empresa projetista: HIDROSERVICE Engenharia de Projetos Ltda.

Assessoria Técnica: METCALF & EDDY INTERNATIONAL, INC.

Cenário do projeto: ano de 2000

População a ser atendida: 21.600.000 hab (2000);

carga poluente equivalente total (p.e.t)=35.618.519 hab;

consumo de água (c.a-SANEGRAN)=400 L/hab.dia;

vazão total de tratamento das ETE's=95 m³/s.

As considerações para o cálculo foram:

A população equivalente (p.e) às cargas poluentes geradas pelas indústrias e pelo escoamento superficial (carga difusa), as quais são respectivamente, a carga poluente de origem industrial (c.p.i) = 219 toneladas DBO/dia (SABESP, 2007) e a carga de escoamento superficial (c.e.s)=84 toneladas DBO/dia (SANEGRAN).

A carga poluente em DBO/hab.dia na RMSP era de 54g/hab em 1970, esse valor continua válido em 2008 (Imhoff e Imhoff, 2000).

Então, tem-se:

$$p.e = \left(\frac{(c.p.i) + (c.e.s)}{54g \text{ de DBO} / \text{hab.dia}} \right) \quad (18) \quad \text{logo } p.e = 5.611.111 \text{ hab}$$

População da RMSP em 2008 = 19.697.337 hab (SEADE, 2009);

carga poluente equivalente total (p.e.t) = 19.697.337 + 5.611.111 = 25.308.448 hab;

consumo de água (c.a - 2008) = 285,11 l/hab.dia.

A vazão total necessária para tratamento de esgoto pelas ETE's para o ano de 2008 foi de:

$$ETE(2008) = 95 \text{ m}^3/\text{s} * \left(\frac{(p.e.t(2008)) * (c.a - 2008)}{(p.e.t \text{ SANEGRAN}) * (c.a - \text{SANEGRAN})} \right) \quad (19)$$

$$ETE(2008) = 48,11 \text{ m}^3/\text{s}$$

O resultado está coerente com a previsão da FUSP apresentada na Tabela 15, cujo esgotamento sanitário seria de 48.298 L/s para o ano de 2010. Por ser necessário o tratamento de 48,11 m³/s para a RMSP e segundo a SABESP na 2ª Etapa do Projeto Tietê (2008) o volume tratado foi de 15,7 m³/s, resulta o volume de esgotamento sanitário de 32,41 m³/s lançado ao rio Tietê que representa à carga poluidora de 920.668 kg DBO/dia.

Este fato permitiu analisar a carga de poluentes bombeada ao reservatório Billings, segundo a FIG. 20. O bombeamento das águas ao reservatório Billings ocorreu em duas situações:

1ª) no controle das cheias, quando o rio Tietê apresenta vazão superior a 160 m³/s na Foz do rio Pinheiros, foi desviado até 350 m³/s;

2ª) após o tratamento por flotação, que foi operacionalizado na vazão de 10 m³/s com águas com origem no canal do rio Pinheiros.

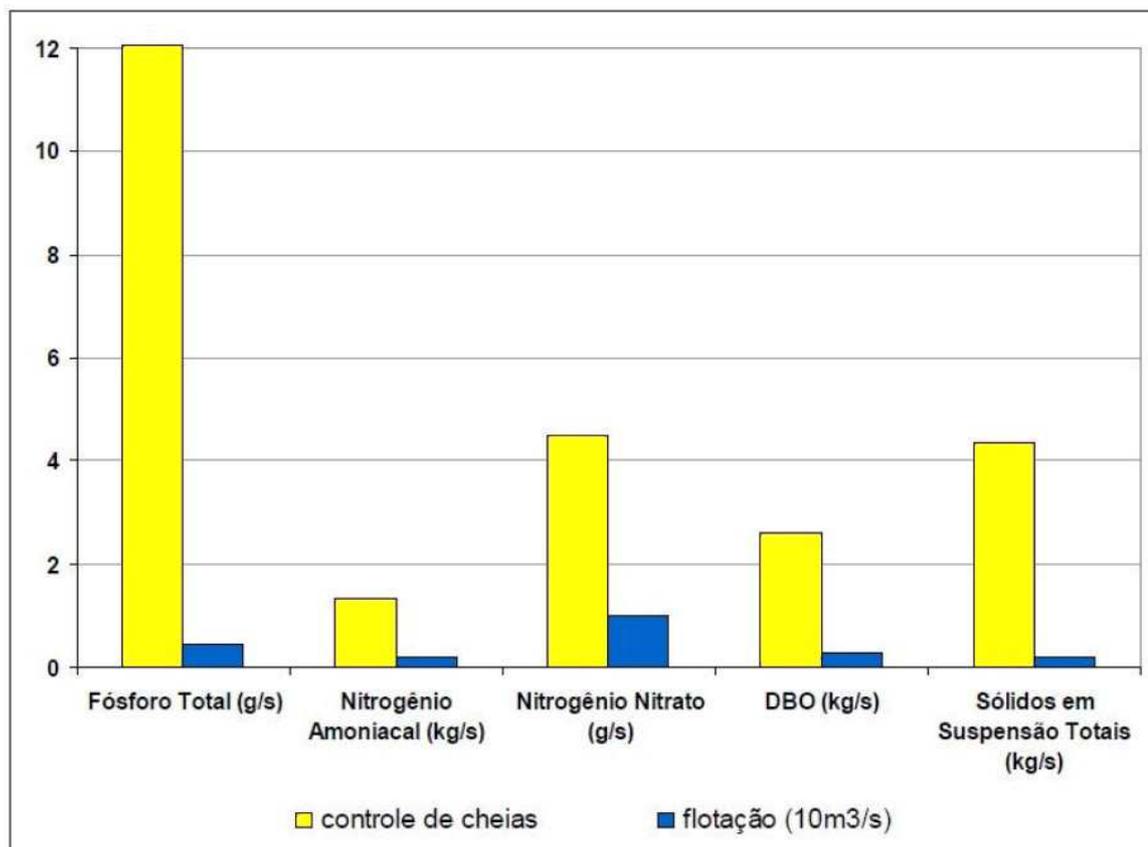


FIGURA 20 -Taxa de bombeamento de carga de poluentes (massa por segundo) para o reservatório Billings durante a flotação e controle de cheias.

Fonte :FCTH (2009)

Observou-se, no controle das cheias, um grande impacto de carga poluidora no reservatório Billings originária do rio Tietê.

A carga de poluentes (massa por segundo) transferida por bombeamento ao reservatório Billings foi sempre menor após o processo de flotação em relação ao controle de cheias.

O resultado encontrado para seis indicadores de qualidade de água obtidos após o processo de flotação é apresentado na TAB. 22. O fluxo d'água que percorre o rio Pinheiros entrou em P₁ como água bruta e saiu em P4A como água flotada, levando 20 horas na realização do processo de flotação.

TABELA 22-Eficiência de remoção de poluentes com operação do protótipo de flotação.

Variável de qualidade	Valores médios		Variação P1-P4A	
	P1	P4A	Obtida	esperada
Fósforo Total (mg/L)	0,586	0,050	-91%	-95%
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	24,0	20,6	-14%	-
Escherichia coli (NMP/100mL)	345.132	31.745	-90,8%	-99,9%
DBO (mg/L)	73	34	-53%	- 71%
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,3	3.1	+34%	-
Turbidez(UNT)	57	31	-46%	-91%

Fonte: FCTH (2009)

A análise dos resultados do tratamento permitiu concluir que a eficiência de remoção foi boa para o fósforo total (91%), baixa para a redução de nitrogênio amoniacal (14%); boa para remoção de *Escherichia coli* (90%), boa para remoção de matéria orgânica DBO (53%); regular para aumento de oxigênio (34%) e regular para a diminuição da turbidez (46%). O tratamento por flotação por ser um processo físico-químico não é eficiente para a desnitrificação (Imhoff e Imhoff, 2000).

5.2 Viabilidade Técnica da operação de bombeamento

Considerando que chegue ao reservatório Billings água da classe 2, o presente trabalho empregou o método AHP na avaliação da utilização das águas do reservatório Billings em relação aos dois objetivos: água para produzir energia elétrica na Usina Henry Borden (Uso E) e água para abastecimento (Uso A).

5.2.1 Definição das características

As características (critérios) adotadas para a aplicação do método AHP foram divididas em três distintos objetivos: técnico, econômico e sócio-ambiental.

As características com suas áreas de ação:

K1: qualidade da água na Billings. Esta característica representa parâmetros indicativos da qualidade da água;

K2: flotação. Esta característica está baseada na possibilidade da alteração da qualidade da água;

K3: quantidade de água na Foz do rio Pinheiros. Esta característica relaciona água em excesso (enchente) ou escassez (flotação);

K4: receita da operação de flotação. Esta característica relaciona o resultado financeiro devido à produção de energia elétrica com a produção de água para abastecimento;

K5: Importância do meio sócio-ambiental. Esta característica avalia a condição sanitária da área (saúde física da população) e também no ecossistema aquático (pelos índices de qualidade: IQA, IVA, IB)

As escolhas destas características resultaram de encontro técnico com engenheiros da EMAE e com a obtenção de dados experimentais do Projeto QAPB.

5.2.2 Formação da matriz comparação de características:

Utilizando-se da escala de Saaty (TAB.19), pondera-se a importância das características em comparações paritárias, ao caso em análise, forma-se a Matriz de Comparação de Característica (TAB. 23).

TABELA 23 -Matriz de Comparação de Característica

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	1	3	2	1
K2	1	1	3	1	1/2
K3	1/3	1/3	1	2	1/4
K4	1/2	1	1/2	1	1/3
K5	1	1/2	4	3	1

O vetor W peso das características é formado pela soma das componentes de cada coluna da matriz de comparação das características, isto é:

$$w=(23/6, 23/6, 23/2, 9, 37,4),$$

Logo $w= (3,833; 3,833; 11,5; 9 ; 3,083)$ um vetor linha.

Na determinação de $\lambda_{m\acute{a}x}$, o vetor w será disposto como um vetor coluna, enquanto o autovetor das características w normalizado é denominado T , obtido em (TAB.36) com valor $T= [0,265 \ 0,211 \ 0,113 \ 0,131 \ 0,280]$ (vetor linha).

Para a avaliação da consistência dos dados, calculou-se o autovalor por meio da equação 15.

$$\lambda_{\text{máx}} = [0,265 \quad 0,211 \quad 0,113 \quad 0,131 \quad 0,280] \begin{bmatrix} 3,833 \\ 3,833 \\ 11,5 \\ 9,0 \\ 3,083 \end{bmatrix} = 5,166$$

O cálculo do índice de consistência (I.C.)

$$I.C. = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{n - 1} = \frac{5,166 - 5}{4} = 0,0415 \quad \text{e, sendo o índice IR}=1,12 \text{ (TAB. 21)}$$

$$\text{O cálculo da razão de consistência (RC) é } RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0415}{1,12} = 0,0371 < 0,1$$

O resultado de RC foi menor do que 0,1. Este fato indicou que os vetores das características que estão definidos neste estudo, os quais são chamados de vetores linearmente independentes, descreveram o universo do estudo de modo consistente.

5.2.3-Cálculo do vetor e norma de cada característica

TABELA 24 - K1 Qualidade de água na Billings

Vetor e Norma

K1	Uso-E	Uso-A
Uso E	$1 \div 8/7 = 7/8$	$7 \div 8 = 7/8$
Uso A	$1/7 \div 8/7 = 1/8$	$1 \div 8 = 1/8$
Norma	1	1

TABELA 25 - K2 Flotação

Vetor e Norma

K2	Uso-E	Uso-A
Uso E	$1 \div 5/4 = 4/5$	$4 \div 5 = 4/5$
Uso A	$1/4 \div 5/4 = 1/5$	$1 \div 5 = 1/5$
Norma	1	1

TABELA 26 - K3 Quantidade de água na Foz do rio Pinheiros

Vetor e Norma

K3	Uso-E	Uso-A
Uso E	$1 \div 5/4 = 4/5$	$4 \div 5 = 4/5$
Uso A	$1/4 \div 5/4 = 1/5$	$1 \div 5 = 1/5$
Norma	1	1

TABELA 27 - K4 Receita da operação de flotação

Vetor e Norma:

K5	Uso-E	Uso-A
Uso E	$1 \div 6/5 = 5/6$	$5 \div 6 = 5/6$
Uso A	$1/5 \div 6/5 = 1/6$	$1 \div 6 = 1/6$
Norma	1	1

TABELA 28 - K5 Importância sócio-ambiental

Vetor e Norma

K1	Uso-E	Uso-A
Uso E	$1 \div 5 = 1/5$	$1/4 \div 5/4 = 1/5$
Uso A	$4 \div 5 = 4/5$	$1 \div 5/4 = 4/5$
Norma	1	1

5.2.4 Cálculo da média da característica em cada “USO”

A partir deste cálculo foi produzido o peso normalizado do USO com relação a cada característica.

TABELA 29 - Média da característica: Qualidade de água na Billings

K1	Uso-E	Uso-A	Média (M)
Uso E	7/8 +	7/8	$7/8 = 0,875$
Uso A	1/8 +	1/8	$1/8 = 0,125$

TABELA 30 - Média da característica: Flotação

K2	Uso-E	Uso-A	Média (M)
Uso E	4/5 +	4/5	$4/5 = 0,800$
Uso A	1/5 +	1/5	$1/5 = 0,200$

TABELA 31 - Média da característica: Quantidade de água na Foz do rio Pinheiros

	K3	Uso-E	Uso-A	Média (M)
Uso E		4/5 +	4/5	4/5=0,800
Uso A		1/5 +	1/5	1/5=0,200

TABELA 32 - Média da característica: Receita da operação de flotação

	K4	Uso-E	Uso-A	Média (M)
Uso E		5/6 +	5/6	5/6=0,833
Uso A		1/6 +	1/6	1/6=0,167

TABELA 33 - Média da característica: Importância sócio-ambiental

	K5	Uso-E	Uso-A	Média (M)
Uso E		1/5 +	1/5	1/5=0,200
Uso A		4/5 +	4/5	4/5=0,800

Obtida a matriz W_u (TAB.34), peso normalizados dos "Usos" para cada característica, a partir do vetor Uso X, cujas componentes são os valores da média de cada uma das características adotadas para cada Uso.

Então, $Uso X = (K1; K2; K3; K4; K5)$

Tem-se:

$$Uso E = (0,875; 0,800; 0,800; 0,833; 0,200)$$

$$Uso A = (0,125; 0,200; 0,200; 0,167; 0,800)$$

TABELA 34 - Matriz: Peso dos Usos para cada característica (W_u)

Uso-características	K1	K2	K3	K4	K5
Uso E	0,875	0,800	0,800	0,833	0,200
Uso A	0,125	0,200	0,200	0,167	0,800

TABELA 35 - Normalização das características (TAB. 23)

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	$1 \div 23/6 = 0,261$	$1 \div 23/6 = 0,261$	$3 \div 23/2 = 0,261$	$2 \div 9 = 0,222$	$1 \div 37/4 = 0,324$
K2	$1 \div 23/6 = 0,261$	$1 \div 23/6 = 0,261$	$3 \div 23/2 = 0,261$	$1 \div 9 = 0,111$	$1/2 \div 37/4 = 0,162$
K3	$1/3 \div 23/6 = 0,087$	$1/3 \div 23/6 = 0,087$	$1 \div 23/2 = 0,087$	$2 \div 9 = 0,222$	$1/4 \div 37/4 = 0,081$
K4	$1/2 \div 23/6 = 0,130$	$1 \div 23/6 = 0,261$	$1/2 \div 23/2 = 0,043$	$1 \div 9 = 0,111$	$1/3 \div 37/4 = 0,108$
K5	$1 \div 23/6 = 0,261$	$1/2 \div 23/6 = 0,130$	$4 \div 23/2 = 0,348$	$3 \div 9 = 0,334$	$1 \div 37/4 = 0,325$

O cálculo da média aritmética (por linha) das características (TAB. 35) define o autovetor ``T`` das características (TAB. 36)

TABELA 36 – Autovetor ``T`` das características

	K1	K2	K3	K4	K5	T (autovetor)
K1	0,261	0,261	0,261	0,222	0,324	0,265
K2	0,261	0,261	0,261	0,111	0,162	0,211
K3	0,087	0,087	0,087	0,222	0,081	0,113
K4	0,130	0,261	0,043	0,111	0,108	0,131
K5	0,261	0,130	0,348	0,334	0,325	0,280

5.2.5. Determinação do objetivo

A determinação da Matriz Objetivo (M.O.) revelará quanto será o percentual de água para produção de eletricidade e quanto para o suprimento de água para abastecimento, por meio da multiplicação entre as matrizes: matriz W_u (peso dos usos para cada característica) pela matriz T peso das características.

$$M.O. = W_u \cdot T, \text{ sendo } M.O. = \begin{bmatrix} U_{soE} \\ U_{soA} \end{bmatrix}$$

$$M.O. = \begin{bmatrix} 0,875 & 0,800 & 0,800 & 0,833 & 0,200 \\ 0,125 & 0,200 & 0,200 & 0,200 & 0,800 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,265 \\ 0,211 \\ 0,113 \\ 0,131 \\ 0,280 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,6562 \\ 0,3438 \end{bmatrix}$$

O resultado deste estudo proveniente do método AHP demonstrou que 65,62%, da água que entra no reservatório Billings poderá ser utilizada para gerar energia elétrica, enquanto que 34,38% desta água poderá ser utilizada no abastecimento da RMSP.

5.3 Viabilidade Econômica da operação de flotação

A necessidade de mais água potável para a RMSP está prevista no planejamento até o ano 2025 realizado pela Secretaria de Saneamento e Energia, que analisou a problemática da água em dois cenários de demanda: demanda tendencial e demanda dirigida, segundo a FIG. 21.

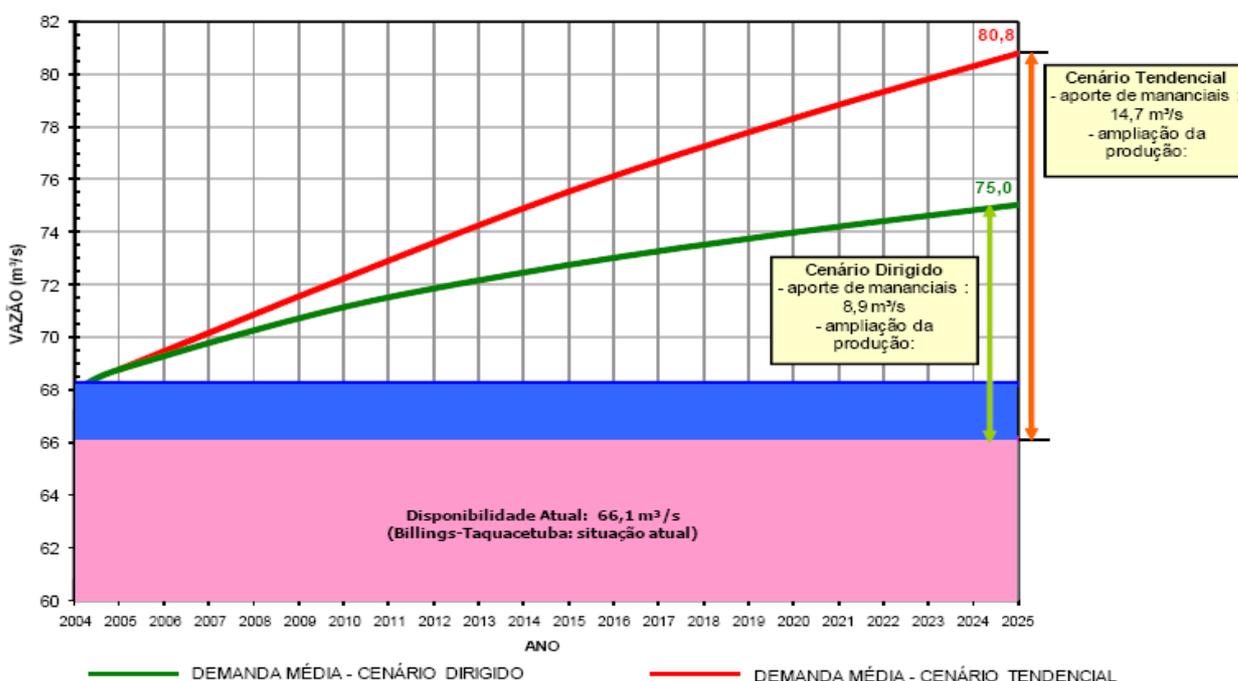


FIGURA 21 - Cenários tendencial e dirigido de demanda de água (m³/s)
Fonte: Secretária de Saneamento e Energia (2008)

A análise revela a necessidade de aporte de 14,7 m³/s em 2025 no cenário tendencial e 8,9 m³/s no cenário de demanda dirigida. A possibilidade deste aporte poderá vir por meio do Projeto Flotação que na sua 2^a etapa prevê o tratamento de 50 m³/s.

Deste modo o reservatório Billings receberá água flotada (A_f) igual a 50 m³/s e a água natural (A_n) igual a 16 m³/s, logo a Água total (A_T) na Bacia da Billings será:

$$A_T = A_f + A_n = 50 + 16 = 66 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Por meio da análise técnica realizada pelo método AHP, obteve-se a disponibilidade de 34,38% dessa vazão, logo 22,69 m³/s de água para o

abastecimento da RMSP. Esta oferta de água poderá satisfazer a demanda futura e reduzirá a grande dependência da RMSP ao Sistema Produtor Cantareira (33 m³/s) cuja outorga vencerá em 2014. A viabilidade econômica do aproveitamento desta água está no custo da operação de flotação.

O estudo utilizou como custo da operação de tratamento do Projeto Flotação (para a vazão de 10 m³/s) o mesmo valor de R\$0,094 por metro cúbico de esgoto tratado na ETE-Barueri (processa a vazão de 7 m³/s) obtido por Sampaio (1999). Com este valor é possível comparar o custo da água do Projeto Flotação para o abastecimento da RMSP com o custo de aporte de água proveniente de outros mananciais, segundo a TAB. 37.

TABELA 37 – Alternativa de Abastecimento da RMSP por Mananciais

MANANCIAL	VAZÃO (m ³ /s)	CUSTO INVEST. (R\$ 1000)	CUSTO ANUAL ENERGIA (R\$ 1000)	CUSTO ÍNDICE (R\$ /m ³)
1-Alto Tietê (Paraitinga-Biritiba-Taiaçupeba)	5,9	47.560	1.400	0,033
2 Braço Rio Pequeno-Ligação Braço R.Grande	2,2	17.720	-	0,025
3-Juquiá em Juquitiba-Bomb./Sta. Rita	4,7	133.630	5.102	0,124
4-Itapanhaú - Bomb./Biritiba	2,8	52.485	665	0,067
5- Itatinga – Bom./ Jundiá	2,15	55.010	652	0.091
6- Capivari – Monos – Bomb./Guarapiranga	2,05	97.405	615	0,160
7- São Lourencinho –Bomb./-Sta. Rita	30	1.373.255	116.435	0,268
8-Paraíba do Sul –Bomb. Paraíba / Pte. Nova	5 10	187.330 295.590	4.774 7.574	0,149 0,118
9-Paraíba do Sul – Bomb. Jaguarí / Atibainha	5 10 15	133.430 201.530 254.080	6.183 10.838 16.544	0,124 0.098 0.089
10-Médio Tietê – Bomb. Barra Bonita / São Paulo	10 20 30	1.881.470 2.925.150 3.981.200	35.128 67.113 112.572	0,707 0,570 0,539
11- Avaré- Bomb. Jurumirim / São Paulo	30	4.828.865	109.848	0,526
12-Ribeira de Iguape / São Paulo (custo bomb.)	30	1.541.203	131.785	0,302

Fonte Sabesp

Da Tab.37, observa-se que o custo somente do bombeamento das alternativas 8 e 9 com vazão de 10m³/s e a alternativa 10 com vazão de 20m³/s apresentam

custo maior do que a alternativa do Projeto Flotação, portanto a operação de flotação para o abastecimento é viável economicamente.

A viabilidade econômica na produção de energia elétrica da Usina Henry Borden é plena, visto que a Usina já amorteceu o seu investimento no parque industrial.

O resultado da aplicação do método AHP afirma que se dispõe de 65,62% de água para a produção de energia elétrica ou seja, a Usina Henry Borden (UHB) tem a sua disposição a vazão de $66 \times 65,62\% = 43,31 \text{ m}^3/\text{s}$.

Esta vazão de água para a produção de energia em UHB está próxima da média formada, entre o valor médio de turbinamento ocorrido no período de 1939-1991 que foi de $60,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (situação de máxima produção) e a vazão no período de 1993-2000 com média de $24,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (situação de mínima produção).

O valor médio que resulta entre o máximo e o mínimo é a vazão de $42,60 \text{ m}^3/\text{s}$. A Usina pelo Projeto Flotação terá uma vazão de $43,31 \text{ m}^3/\text{s}$, estará atuando próximo da média e nesta condição produzirá $245,2 \text{ MW}_{\text{EL}}$ médios, um acréscimo de 127,04% em relação a presente situação de $108 \text{ MW}_{\text{EL}}$ médios, o que é um fato econômico satisfatório, devido à necessidade de energia elétrica para o desenvolvimento do país.

6- CONCLUSÕES

1ª).O tratamento de esgoto necessário para a RMSP deveria ser de $48,11\text{m}^3/\text{s}$. O esgoto tratado em 2008 foi de $15,7\text{ m}^3/\text{s}$. Portanto, há um déficit de tratamento de $32,41\text{ m}^3/\text{s}$, o qual significa uma carga poluidora de 920.668 kg de DBO/dia lançada no rio Tietê.

2ª) A carga de poluentes bombeada no reservatório Billings após a flotação da água do rio Pinheiros (massa de poluente por segundo) é menor do que aquela observada na operação do controle de cheias.

3ª) A análise de seis indicadores de qualidade de água realizada após o tratamento de flotação no rio Pinheiros mostrou que o processo foi eficiente para a remoção de fósforo total e de E.coli. A eficiência foi regular para a remoção de matéria orgânica, para aumento de oxigênio dissolvido e para a diminuição da turbidez. A eficiência foi baixa para a remoção de nitrogênio amoniacal.

4ª) O cálculo do índice de consistência mostrou um valor igual a 0,0371. Este resultado menor que 0,1 demonstrou que os vetores das características definidos no estudo pela aplicação do método AHP eram consistentes.

5ª) A utilização do método AHP demonstrou que 65,62% da água, que entra no reservatório Billings poderá ser utilizada para gerar energia elétrica, enquanto 34,38% desta água poderá ser utilizada no abastecimento da RMSP.

6ª) A análise de custos comparando o processo de flotação com o custo de aporte de água proveniente de outros mananciais demonstrou que a operação de flotação na água do rio Pinheiros para o abastecimento da RMSP é economicamente viável.

7ª) A Usina Henry Borden pelo Projeto Flotação terá uma vazão de $43,31\text{ m}^3/\text{s}$ e produzirá $245,2\text{ MW}_{\text{el}}$ médios. Isto significa um acréscimo de 127,04% de produção de energia elétrica em relação à situação atual de $108\text{ MW}_{\text{EL}}$ médios.

8ª) Por meio da análise técnica realizada pelo método AHP obteve-se a disponibilidade de 22,69 m³/s de água para o abastecimento da RMSP. Isto significa um acréscimo de 240,69 % em relação a presente situação de abastecimento de 6,66 m³/s retirados do reservatório Billings.

7-CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática envolvendo a água e o meio ambiente no reservatório Billings é o efeito de uma causa principal, um macro-problema. Esse macro-problema apresenta duas componentes, o retorno das águas residuárias não tratadas ao sistema hídrico do alto Tietê e a macrodrenagem da RMSP, sendo esta constituída pela drenagem urbana e o controle das cheias.

Sabendo-se deste macro-problema, o trabalho sugere que a ação para a obtenção da solução esteja centrada em um conceito filosófico (HANSEI) e em um conceito técnico (KAIZEN).

E dentro do escopo da obtenção da solução, o HANSEI impele as autoridades estadual e municipal a ÉTICA PROFISSIONAL na abordagem da solução deste macro-problema.

Já, o conceito técnico KAIZEN impele aos órgãos das áreas administrativas, municipal e estadual envolvidos no planejamento e execução dos projetos ao aperfeiçoamento contínuo entre as suas ligações. Quanto à parte técnica o KAIZEN propõe aperfeiçoamento e inovação em todos os passos da obtenção da solução. E ainda sob o prisma técnico, justifica a sociedade a solução obtida ao dimensionar o Custo e o Benefício envolvendo aspectos tangíveis e intangíveis desta solução que deve ser executada em um intervalo de tempo bem definido.

Quanto ao custo da solução, tem-se hoje o Plano HIDROPLAN² (1995) que propõe investimentos totais em obras de infra-estrutura para a bacia do alto Tietê que alcançam o montante de US\$ 9.187 bilhões de dólares, distribuídos nos itens: US\$ 1.875 bilhões de dólares em abastecimento público; US\$ 4.844 bilhões de dólares em sistemas de esgotos; US\$ 1.598 bilhões de dólares em controle de cheias; US\$ 870 milhões de dólares no saneamento ambiental da bacia do alto Tietê.

² **HIDROPLAN – Consórcio formado pelas empresas de Consultoria: FIGUEIREDO FERRAZ, COPLASA, ETEP, HIDROCONSULT e MAUBERTEC.**

Além destes investimentos, considera-se hoje, pertinente à solução da problemática da água da RMSP incluir a navegação do rio Tietê, isto é, a construção do hidroanel metropolitano que envolve a construção de 286 km de vias aquáticas ao longo dos rios Tietê e Pinheiros, fechando o circuito pela ligação do reservatório Billings com o reservatório Taiaçupeba (Mogi das Cruzes). Esse hidroanel teria um custo de R\$ 2 bilhões de reais, segundo o engenheiro Frederico Bussinger, diretor do Departamento Hidroviário, da Secretaria Estadual de Transporte (2009).

Essa idéia arrojada foi concebida em 1924, pelo engenheiro Asa White Kenney Billings que previa transportar carga pelos rios Tietê e Pinheiros até o reservatório (hoje Billings) e do planalto paulista a carga desceria a serra do Mar por teleférico ao porto de Santos.

Os benefícios destes investimentos podem ser identificados numa avaliação econômica e ambiental, tanto na vida dos moradores da bacia da Billings, pelo aproveitamento deste reservatório por multi-uso, quanto na vida dos demais moradores da RMSP, que ficariam livres de enchentes, doenças de veiculação hídrica, trânsito congestionado pelo transporte de carga por vias urbanas e maior disponibilidade de água para o abastecimento.

A realização de um empreendimento desta ordem requer a ousadia de líderes que se proprõem a realizar projeto econômico-social que vão além do seu tempo, como foram os projetos executados pelo engenheiro Billings.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Legislação. Disponível em: <http://www.agenda_altotiete.org.br>. Acesso em 02 jun 2006.

ALMEIDA, P.P. Aplicação do Método AHP – Processo Analítico Hierárquico – à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo “Offshore”. Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC, 2002.

ANA. Agência Nacional das Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. Hidroweb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 04 jul 2006.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração (BIG). Informações do Setor Elétrico. Disponível em: <<http://aneel.gov.br>>. Acesso em 12 mai 2006.

AZEVEDO NETTO, J. M. Técnica de abastecimento e tratamento de água. v.2. 2ª ed. São Paulo: CETESB, 1987.

BASILE, J. Apagão de energia elétrica custou ao país R\$ 45 bilhões, conclui o TCU. Valor Econômico. São Paulo, 16 jul. 2009.

BRAGA, E. et al. Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável 2ª ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em < <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 02 jul 2006.

BRAUN, M. Differential Equations and Their Applications. New York: Springer-Verlag, 1975.

CAPOBIANO, J.P.R. ; WHATELY. M. Billings 2000: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002.

CBH-AT/FUSP. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. FUNDAÇÃO E APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Plano da Bacia do Alto Tietê. São Paulo: FUSP – Relatório Final, 2001.

_____ (a) Relatório de Situação dos Recursos Hídricos. São Paulo: FUSP, 2000. CD-ROM.

_____ (b) Plano da Bacia do Alto Tietê. Caderno Institucional. São Paulo: FUSP, 2000.

CBH-AT-COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. Oficina de Projetos. São Paulo: Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2000.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Avaliação do Complexo Billings: comunidades aquáticas, água e sedimento. São Paulo: CETESB, 1996.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade da águas interiores do Estado de São Paulo de 2007. Disponível em CD-ROM.

CONAMA-CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE Resolução CONAMA 357/2005. Disponível em: < www.mma.gov.br/conama >. Acesso em 14 abr de 2009.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S/A. Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica (SIESE). Disponível em: <http://luznocampo.com.br/IN_Informe_SIESE/default.asp>. Acesso em 05 jun 2006.

ELETROPAULO. Eletricidade de São Paulo S/A. Departamento do Patrimônio Histórico. Rios, reservatórios, enchentes. São Paulo: Eletropaulo, 1995.

EMAE. Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A. Usina Henry Borden. Disponível em: < <http://www.cesp.com.br/site-emaee/default.htm>>. Acesso em 18 abr 2006.

EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A. Plano Metropolitano da Grande São Paulo 1994/2010. São Paulo: SPE/EMPLASA, 1994.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional (BEN: 2005, 2007, 2008 e 2009). Rio de Janeiro.

ENGER/PROMON/CKC (Consórcio). Bacia do Alto Tietê: Plano Diretor do Sistema de Macrodrenagem. São Paulo: DAEE, 1998.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica: Projeto de Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings.-em função da operação do protótipo da flotação. Relatório Final. mar 2009, São Paulo, 2009. 1 CD-ROM.

FERRAZ, F. Ampliação de Produção de Água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo; Companhia de Saneamento básico do Estado de São Paulo, 1987.

GUERREIRO, L. Dossiê Técnico: ETA (Estação de Tratamento de Água) e ETE (Estação de Tratamento de Esgoto). REDETEC-Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em < <http://www.redetec.gor.br>>. Acesso em 12 jan 2010.

HIDROPLAN. Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1995.

HISTÓRIA & ENERGIA. A eletrificação do Brasil. Eletropaulo. Departamento de Patrimônio Histórico. São Paulo: Pau Brasil, 1986.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico da população residente. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 03 jun 2006.

IMHOFF, K. IMHOFF, K. L. Manual de Tratamento de Águas Residuárias. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

ISA. Instituto Socioambiental (ONG). Billings 2000. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002.

ISA. Instituto Socioambiental (ONG). Plano da Bacia do Alto Tietê. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2001.

JORDÃO, B.M.C ; PEREIRA, S.R. A análise multicritérios na tomada de decisão, O método Analítico Hierárquico de T.L. Saaty. Instituto Politécnico de Coimbra. Portugal, 2006.

LEÃO, M.A.C. PRINCÍPIOS DE BIOFÍSICA, 2ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1982.

MAFFEI, R. ÁGUAS REVOLTAS-A análise técnica e histórica das enchentes em São Paulo. MEMÓRIA, ano II, nº 5, out-nov-dez de 1989, pg 24-56. Eletropaulo. São Paulo, 1989.

MEMÓRIA. História da LIGHT, Eletropaulo. Departamento de Patrimônio Histórico. São Paulo: EcoDigit, nº 23,1996.

METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering: treatment disposal and reuse. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

NASCIMENTO, N.O; HELDER. L. CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA INTERFACE ENTRE AS ÁREAS DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo

Grande-MS, anais eletrônicos, 2005. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n1, pg 36-48, 2005.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Editora Bookman, 1997.

PAMPLONA, E.O. Avaliação Qualitativa de Cost Drivers pelo Método AHP. In: VI ABCUSTOS, jun 1999. São Paulo.

PORTO, M. Recursos hídricos e saneamento na região metropolitana de São Paulo: um desafio do tamanho da cidade. Brasília, DF: Banco Mundial, 2003 (Série Água Brasil, 3)

RADESCA, M. L. A Baixada Santista – Aspectos Geográficos. v.4 “Cubatão e suas industrias”. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1965

RICCITELLI, M; SEMURA, K. A; ZELMIKAITIS, L. Avaliação da aplicação da tecnologia de tratamento primário intensificado quimicamente na etes da região metropolitana de São Paulo CEPT (Chemically Enhanced Primary Treatment). In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?. Rio de Janeiro, ABES, 2005. p. 1-8

RICHTER, C. A; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de Água. São Paulo: Edgar Blucher, 1991.

SAATY. T.L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. O PROJETO TIETÊ. Disponível em < <http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em jun 2006.

SAMPAIO, A.O. Custos operacionais de estação de tratamento de esgoto por lodos ativados: estudo de caso ETE Barueri. In: Associação Brasileira de

Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS-Desafio para o saneamento ambiental no terceiro milênio. Rio de Janeiro, ABES, 1999

SANEGRAN. A JUSTA SOLUÇÃO SANITÁRIA PARA A GRANDE SÃO PAULO. São Paulo: SABESP, 1979.

SÃO PAULO (Estado). Constituição do Estado de São Paulo, 1989. Disponível em: < <http://www.legislação.sp.gov.br> >. Acesso em 08 mai. 2009.

SRHSO-SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS. In: ISA – Indicador de Salubridade Ambiental. Manual Básico. São Paulo,1999.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Sistema de Flotação e Remoção de Flutuantes para a melhoria das águas do rio Pinheiros. Disponível em < www.ambiente.sp.gov.br > .Acesso em 14 abr. 2009

SSE – Secretaria de Saneamento e Energia: Semana FIESP do Meio Ambiente. Algumas Ações Integrais de Governo. Ricardo Toledo Silva. São Paulo, 2008.

SOUZA, E. E. História da Light – primeiros 50 anos. São Paulo: Eletropaulo. Departamento de Patrimônio Histórico, 1989.

SPERLING, M.V. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2.ed.Belo Horizonte: DESA-UFMG,1996.

TSUKAMOTO, R. Y. Tratamento Primário Avançado: O paradigma moderno de tratamento de esgoto. Disponível em: www.aqualatinoamerica.com/docs/PDF/3-4-02 . Acesso em 17 set 2009.

TUCCI, C.E.M .Curso de Gestão das Inundações Urbanas. Porto Alegre - RS. Brasil, 2005. Disponível em:< www.aveagua.org Manual Gestion de Inundações Urbanas.pdf>. Acesso 10 nov 2009.

USINAS. RIO TIETÊ 2008.

Disponível em: < [http:// www.riotiete.com.br/usinas.htm](http://www.riotiete.com.br/usinas.htm). Acesso em 14 abr 2009

USP - Universidade de São Paulo. Interunidade de Pós-Graduação em Energia. Seminário: Avaliação e Análise do Projeto de Implantação de Estações de Tratamento das Águas do Rio Pinheiros e Venda de Energia Elétrica Adicional a ser Produzida pela UHE Henry Borden. São Paulo, 2001.

ZANCHETA, M. N. As conseqüências sócio, econômico e ambientais da troca do óleo combustível por gás natural, na Usina Termoelétrica Piratininga. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2005.

ZUFFO, A. C. Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1998.