

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS EM
SISTEMAS DE SANEAMENTO

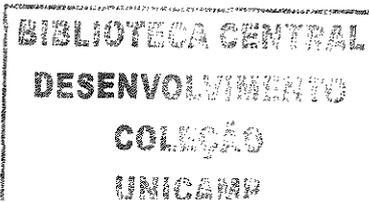
Aluno: Marcos de Sousa

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Pena de Andrade

Campinas

São Paulo

Fevereiro/2005



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS EM
SISTEMAS DE SANEAMENTO

Marcos de Sousa

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Pena de Andrade

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Recursos Hídricos.

Campinas
2005

Atesto que essa é a versão definitiva da
dissertação/tese

Prof. Dr.


Matricula 05933-1 - 29/06/05

UNIDADE	FL
Nº CHAMADA	
	T/UNICAMP
	So85a
V	EX
TOMBO BCI	65822
PROC.	16-86-05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	2,00
DATA	30/9/05
Nº CPD	

BIBID - 365617

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

So85a Sousa, Marcos de
Aproveitamentos energéticos em sistemas de
saneamento / Marcos de Sousa.--Campinas, SP: [s.n.],
2005.

Orientador: José Geraldo Pena de Andrade.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Energia hidrelétrica. 2. Saneamento. 3. Recursos
hídricos. I. Andrade, José Geraldo Pena. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Energy uses in systems of sanitation.

Palavras-chave em Inglês: Hydraulic power plants, Sanitation e Water
resources.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Edevar Luvizotto Junior e Podalyro Amaral de Souza

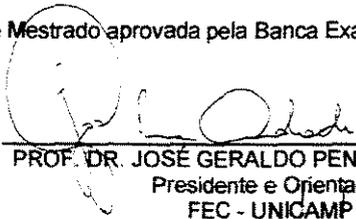
Data da defesa: 24/02/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS EM SISTEMAS
DE SANEAMENTO**

MARCOS DE SOUSA

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



PROF. DR. JOSÉ GERALDO PENA DE ANDRADE
Presidente e Orientador
FEC - UNICAMP



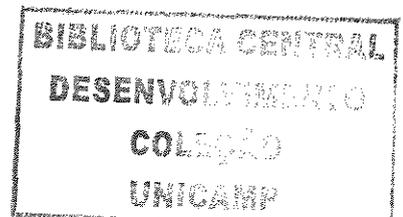
PROF. DR. EDEVAR LUIZOTTO JUNIOR
FEC - UNICAMP



PROF. DR. PODALYRO AMARAL DE SOUZA
POLI - USP

Campinas, 24 de fevereiro 2005

200501672



“Sete Quedas por nós passaram
e não soubemos amá-las,
E todas as sete foram mortas
E todas as setes somem no ar,
Sete fantasmas, sete crimes,
Dos vivos golpeando a vida
Que nunca mais renascerá”

Carlos Drummond de Andrade (1982)

Uma barragem de Itaipu menor deixaria intacta o Salto de Sete Quedas.

Dedicatória

A Isabel, minha esposa, companheira e amiga de todas as horas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof^o. Dr. José Geraldo Pena Andrade pelo incentivo, conhecimento e experiência que muito me ajudou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dr. Paulo Barbosa, Dr. Edmundo Koelle, Dr. Edevar Luvizotto Júnior, Dr^a. Ana Inês Borri Genovez pelos valiosos conhecimentos transmitidos durante minha passagem pela UNICAMP.

Aos colegas companheiros da jornada, Fernando, César, Rodopiano, pelo agradável convívio na universidade e em Campinas.

Aos funcionários da UNICAMP, que direta ou indiretamente, colaboram para a conclusão do trabalho.

Aos engenheiros Celso Haguiuda e Sebastião de Paula Coura do Departamento de Gestão de Energia da SABESP e o engenheiro Antonio Carlos Tambellini Bettarello, da BETTA Hidroturbinas, pelas valiosas informações fornecidas para o progresso do trabalho.

A Prefeitura de Santo André, que disponibilizou o tempo necessário para a elaboração da dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES	xv
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3. SISTEMAS DE SANEAMENTO AMBIENTAL	09
3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	10
3.2 SISTEMA DE ESGOTOS	12
3.3 SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAIS	15
3.4 SISTEMAS DE LIMPEZA PÚBLICA	16
4. PANORAMA DO SANEAMENTO NO BRASIL	19
4.1 O PLANASA - PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO	22
4.2 SITUAÇÃO ATUAL	23
5. PANORAMA DA GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL	27
5.1 ENERGIA HIDRÁULICA	28
5.1.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E POTENCIAL HIDRÁULICO BRASILEIRO	28
5.1.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL	31
5.1.3 PERSPECTIVAS FUTURAS	33

5.2 AS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	34
5.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	36
5.2.2 ESTRUTURA	37
5.2.3 ARRANJOS TÍPICOS DE PCHS	39
5.2.4 VANTAGENS SÓCIO-ECONÔMICAS-AMBIENTAIS A IMPLANTAÇÃO DE PCHS	43
5.3 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS PARA PCHS	44
5.3.1 TIPOS DE TURBINAS	44
5.3.1.1 TURBINA PELTON	45
5.3.1.2 TURBINA FRANCIS	46
5.3.1.3 TURBINA AXIAL	47
5.3.1.4 TURBINAS NÃO CONVENCIONAIS	49
5.4 FABRICANTES NACIONAIS DE TURBINAS	50
6. APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS NOS SISTEMAS DE SANEAMENTO	52
7. ESTUDO DE CASO – POTENCIAIS HIDROENERGÉTICOS EM SISTEMAS REAIS	54
7.1 SISTEMA PRODUTOR CANTAREIRA – RMSP	56
7.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE SANTO ANDRÉ – SP- MCH PARANAÍACABA	60
7.3 TRANSPOSIÇÃO BILLINGS – GUARAPIRANGA – RMSP – PCH TAQUACETUBA	62
7.4 SISTEMA DE ESGOTO DE BOTUCATU – SP – MCH BOTUCATU	64
7.5 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA PARA O CONJUNTO TURBO-BOMBA	64
7.6 O SISTEMA GERADOR HENRY BORDEN	67
7.6.1 O COMPLEXO HÍDRICO BILLINGS	68
7.6.2 O RESERVATÓRIO RIO DAS PEDRAS	69
7.6.3 A USINA HENRY BORDEN	70
7.6.4 A MAIOR LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DO MUNDO	71

8. ESTUDO DE CASO 1 – PCH GUARAU	73
8.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	73
8.2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	73
8.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	73
8.4 POTÊNCIA INSTALADA	75
8.5 VIABILIDADE PRELIMINAR DO EMPREENDIMENTO	77
8.6 ASPECTO AMBIENTAIS	82
8.7 PONTOS DE DESTAQUE DO PROJETO PCH - GUARAÚ	82
9. ESTUDO DE CASO 2 – MCH BOTUCATU	86
9.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	86
9.2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	86
9.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	86
9.4 POTÊNCIA INSTALADA	87
9.5 VIABILIDADE PRELIMINAR DO EMPREENDIMENTO	88
9.6 ASPECTOS AMBIENTAIS	91
9.7 PONTOS DE DESTAQUE DO PROJETO MCH - BOTUCATU	93
10. CONCLUSÃO	96
10.1 CONCLUSÕES	96
10.2 RECOMENDAÇÕES	97
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
12. ANEXOS	103
A - HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DAS TURBINAS HIDRÁULICAS	103
B - ASPECTOS INSTITUCIONAIS – MEIO AMBIENTE	107
B.1 REGULARIZAÇÃO JUNTO AOS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS DA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA	107
B.2 REGULARIZAÇÃO JUNTO AOS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS DO CONJUNTO MICRO/MINI CENTRAL E TURBINA-BOMBA	108
B.2.1 OUTORGA DA ÁGUA	109
B.2.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	110

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES	xv
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Exemplos de Sistemas de Abastecimento de Água
- Figura 2 Esquema de um Sistema Coletivo de Esgoto
- Figura 3 Esquema de uma ETE-Lodos Ativados
- Figura 4 Exemplo de um Sistema de Drenagem de Água Pluviais
- Figura 5 Esquema de um Aterro Sanitário
- Figura 6 Mortalidade Infantil-Brasil, 1960-2000
- Figura 7 Expectativa de Vida ao Nascer-Brasil, 1960-2000
- Figura 8 Cobertura por Coleta de Lixo-1978-1999
- Figura 9 Arranjo Típico para Pequenas Centrais à Baixa Queda
- Figura 10 Arranjo Típico de uma Pequena Central Afastada da Queda
- Figura 11 Arranjo Típico para uma Pequena Central Afastada da Queda e quando não à possível adotar canal
- Figura 12 Arranjo Típico para uma Pequena Central com Alta Queda e próxima a barragem
- Figura 13 Turbina Pelton
- Figura 14 Turbina Francis
- Figura 15 Turbina Kaplan
- Figura 16 Turbina Tubular S
- Figura 17 Turbina Michell-Banki
- Figura 18 Turbina Michell-Banki

- Figura 19 Sistema Cantareira – Planta Geral
- Figura 20 Barragem Cascata – Sistema Cantareira
- Figura 21 Reservatório e Captação no Parque das Águas
- Figura 22 Vista da Estrutura de Descarga
- Figura 23 Vista geral do Stand-pipe
- Figura 24 Vista da Válvula Dissipadora de Energia
- Figura 25 Esquema de Instalação do conjunto Turbina-Bomba
- Figura 26 Aproveitamento com queda natural
- Figura 27 Localização da RMSP
- Figura 28 Principais Sistemas de Recursos Hídricos do Alto Tietê
- Figura 29 Usina Henry Borden – 1941
- Figura 30 Tempo de Amortização do Empreendimento - Obra: PCH Guaraú
- Figura 31 Sistema Cantareira – Perfil Hidráulico
- Figura 32 Planta de Alternativa Básica – PCH Guaraú
- Figura 33 Tempo de Amortização do Empreendimento – Obra: MCH Botucatu
- Figura 34 ETE de Botucatu e MCH
- Figura 35 MCH ETE – Botucatu – Planta
- Figura 36 MCH ETE – Botucatu – Vista Lateral

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Evolução de Indicadores de Saneamento no Brasil, em percentuais de domicílios urbanos e rurais
- Tabela 2 Deflúvio Médio e Consumo de Recursos Hídricos no Mundo, Continentes e Brasil
- Tabela 3 Informações Básicas sobre Bacias Hidrográficas Brasileiras
- Tabela 4 Parque Gerador Nacional (dezembro/2002)
- Tabela 5 Brasil - Evolução da Potência Hidrelétrica e Termelétrica Instalada de 1920 a 2008
- Tabela 6 Algumas Características Utilizadas na Classificação de PCHs
- Tabela 7 Amortização do Empreendimento pela Geração de energia
Obra: PCH Guarau
- Tabela 8 Amortização do Empreendimento pela Geração de Energia
Obra: MCH Botucatu

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

AIE	Agência Internacional de Energia
AMFORP	American and Foreign Power Company
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNH	Banco Nacional de Habitação
BID	Banco Internacional de Desenvolvimento
CESP	Centrais Elétricas de São Paulo
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CCPE	Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CESB	Companhias Estaduais de Saneamento Básico
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétricas
CHESF	Companhia Hidrelétrica de São Francisco

CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COMASP	Companhia Metropolitana de Águas de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
DAIA	Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMAE	Empresas Metropolitana de Águas Energias Elétricas
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ELETROPAULO	Eletricidade de São Paulo S.A
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ELETROBRÁS	Empresa Brasileira de Eletricidade S.A
EFE	Empresa Fluminense de Energia Elétrica
FESB	Fundo Estadual de Saneamento Básico

FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FURNAS	Furnas Centrais Elétrica S.A
FINAME	Agência Especial de Financiamento
GW	Gigawatt
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kW	Kilowatt
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MCH	Micro Central Hidrelétrica
MW	Megawatt
ONS	Operador Nacional de Sistema
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PNPCH	Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PROINFA	Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RIMA	Relatório de Impacto do Meio Ambiente

RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RAE	Repartição de Água e Esgoto
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo
SANESP	Companhia Metropolitana de Saneamento de São Paulo
SAEC	Superintendência de Águas e Esgotos da Capital
SANEVALE	Companhia Regional de Águas e Esgotos do Vale do Ribeira
SBS	Companhia de Saneamento da Baixada Santista
SEAQUA	Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental
SEE	Sistema Estadual de Energia
SES	Sistema Estadual de Saneamento
SMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
SRH	Sistema de Recursos Hídricos
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade Estadual de São Paulo
UNESP	Universidade Estadual Paulista

P_i	Potência Instalada (kW)
ρ	Massa Específica de Água (10^3 kg/ m^3)
g	Aceleração da Gravidade (m/s^2)
H	Queda Disponível (m)
H_L	Queda Líquida (m)
Q	Vazão Geral (m^3/s)
η	Rendimento (%)
η_T	Rendimento Total (%)
η_g	Rendimento de Gerador (%)
η_t	Rendimento da Turbina (%)
E	Energia (kWh)
t	Tempo (t)

RESUMO

O Saneamento, visto de modo clássico, tem como principal objetivo garantir ao homem água de boa qualidade e proporcionar adequado destino a seus dejetos, compreendendo suas atividades básicas abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Hoje, uma cidade, para proporcionar a qualidade de vida necessária aos seus habitantes, deve dispor dos sistemas considerados fundamentais de saneamento: água, esgoto, lixo e drenagem.

Com as crises de energia e esgotamento da exploração dos grandes potenciais hidráulicos em nosso país, as energias alternativas passaram a ser tratadas como fontes de suprimentos energéticos.

Nos sistemas de saneamento já se explora a energia produzida pelos gases do lixo em aterros sanitários, os gases produzidos pelas estações de tratamento de esgotos e a energia hidráulica dos rios nos sistemas de macrodrenagem.

Nos sistemas de abastecimento de água e de coleta, afastamento e tratamento de esgotos existem pequenos potenciais energéticos que podem perfeitamente serem explorados pelas companhias de saneamento.

Portanto, o principal objetivo desta dissertação é o estudo desses potenciais hidráulicos, para a geração de energia elétrica, verificando sua viabilidade técnico-econômica-ambiental-social.

ABSTRACT

Sanitation, seen in a classical way, has as main goal to assure the human being good quality water and provide appropriate destination to their dejections, including basic activities of water supply and sanitary exhaustion.

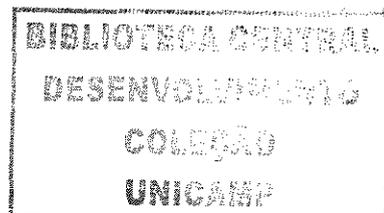
Nowadays, a city to provide a quality of life necessary to its inhabitants must supply fundamental systems of sanitation: water, sewage, garbage and drainage.

With the energy crisis and the exhaustion of exploration of great hydraulic potentials in our country, the alternative energies passed to be considered as sources of energy supplies.

In sanitation systems, we are already exploring the energy produced by garbage gases in landfills, the gases produced by sewage treatment stations and hydraulic energy of the rivers in macrodrainage system.

In water supply and collection systems, sewage displacement and treatment, there are small energy potentials that can be perfectly explored by sanitation companies.

Therefore, the main goal of this dissertation is the study of those hydraulics potentials, for the generation of electric energy, verifying its technical, economical, environmental and social viability.



1. INTRODUÇÃO

A energia é uma entidade onipresente no cotidiano de todos os seres vivos. Sem sua presença a vida seria difícil. É a essência da própria vida, o fator preponderante no desenvolvimento dos povos e sua obtenção, ao longo da história das civilizações, sempre representou aumento na utilização dos recursos naturais: lenha, petróleo, carvão, quedas d'água, etc., produzindo alterações no meio ambiente, na maioria das vezes, negativas, sob a ótica ambiental.

A energia, nas suas diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana e o homem, na suas constante evolução, sempre descobriu fontes e formas alternativas de adaptação ao meio ambiente em que vive, para atendimento de suas necessidades, de modo que para cada estágio de sua evolução, sempre existiu uma fonte básica de suprimento energético.

Entre essas fontes de suprimento energético, a eletricidade tornou-se uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento sócio econômico de muitos países e regiões.

Das fontes principais de geração de energia elétrica, a energia hidráulica se firma no Brasil, ao longo de anos, como a fonte primária mais importante de energia, não só pelo montante de potencial disponível, dada a imensa quantidade de rios que cobrem o país, mas também a sua atratividade econômica.

Apesar de enorme potencial, estimado com 260.000 MW, a última crise energética deu-se em decorrência da falta de compasso entre os investimentos em grandes hidrelétricas e a demanda de energia, estimulado pelo Plano Real.

Com a crise, houve uma flexibilização das regras do Estado para a obtenção da outorga para novos empreendimentos para aproveitamento dos potenciais hidráulicos, muitas vezes sem necessidade de licitação, da isenção de taxa de compensação financeira a Estados e seus municípios onde as usinas se instalarem, e da isenção de pagamento por uso das redes de distribuição para usinas que entrarem em operação em certo espaço de tempo.

Essa nova configuração despertou interesses de empresas para o aproveitamento de pequenos potenciais energéticos, antes totalmente desperdiçados e dissipados, inclusive empresas de saneamento.

Hoje, essas empresas têm uma preocupação não só no uso racional de energia com também no aproveitamento de pequenos potenciais energéticos que ocorrem principalmente ao longo do sistema de abastecimento de água e do sistema de coleta, afastamento e tratamento de esgotos.

No decorrer da história da construção das obras hidráulicas no Brasil, principalmente quanto às obras que tinham a finalidade de gerarem eletricidade, a partir do momento que o Estado, e mesmo as grandes empresas, tanto nacionais quanto estrangeiras, passaram a construí-las, a ênfase foi para obras de grande porte, com alto retorno econômico.

Hoje, passados mais de um século dos primeiros empreendimentos hidroelétricos, a maioria dos grandes potenciais já foram aproveitados, sendo que falta melhor explorar os grandes rios da bacia amazônica, apesar de alto impacto ambiental, como, por exemplo, com a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, localizada no Rio Xingu, que poderá gerar 11.182 MW, ou seja, a segunda maior usina do país, atrás apenas de Itaipu, com capacidade de 12.600 MW.

Com o esgotamento dos grandes potenciais, passou-se a valorizar os potenciais desprezados e ignorados, principalmente pela flexibilização das regras para obtenção da autorização do projeto, construção e operação, pela (ANEEL 2002), aliado à vantagem de ser um tipo de empreendimento com baixo impacto ambiental.

Assim, até 2002, havia 24 centrais em construção e 97 outorgadas, que somadas, deverão adicionar ao sistema elétrico brasileiro 1.513 MW – (ANEEL 2002).

Portanto, tem havido uma valorização dos pequenos potenciais hidroenergéticos, que voltaram a ser explorados, tanto por empresas públicas como privadas, despertando, inclusive, interesses em setores que, tradicionalmente, não geram energia elétrica.

Nos sistemas de água e esgoto existem potenciais de aproveitamento bastante interessantes nas fases de transporte de água bruta e no momento do lançamento do efluente tratado no rio, como também na chegada do esgoto bruto na ETE.

A tecnologia das Pequenas Centrais Hidrelétricas, hoje bastante difundida e divulgada no país, seria facilmente inserida nesses sistemas, com grandes vantagens já que não há necessidade de construção de onerosas barragens e alagamentos, não acarretando assim impacto ambiental e social, como também no aproveitamento de vazões já regularizadas, que normalmente envolvem, para seu cálculo, certos riscos e incertezas.

Dessa forma, o objetivo principal da dissertação será estudar a viabilidade do aproveitamento de pequenos potenciais hidroenergéticos no seu aspecto técnico-econômico-ambiental-social dos sistemas de saneamento, com exemplos de estudos que estão sendo desenvolvidos por empresas do setor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Registros comprovam a existências de obras com a utilização de recursos hídricos nas mais antigas civilizações. A cerca de seis mil anos os mesopotâmicos já utilizavam sistemas de irrigação (4000 a.C.), já existia a galeria de esgotos de Nipur, na Índia (3750 a.C.) e os sistemas de água e drenagem no vale do Hindus (3200 a.C.). As tubulações de cobre também já eram utilizadas no palácio real do faraó Cheops em 2750 a. C.; no Brasil, os primeiros sistemas urbanos de água e esgoto foram construídos na cidade do Rio de Janeiro em meados do século XVIII, fatos esses relatados por Ressende & Heller (2002).

Será apresentada a seguir uma revisão histórica do aproveitamento da energia hidráulica (Bonilha 1993). O uso da energia hidráulica remonta às primeiras civilizações. Os gregos, aparentemente, foram os primeiros a desenvolver máquinas hidráulicas para abreviar tarefas que eram feitas de forma bem primitiva (época helenista, por volta de 200 a.C.). Egípcios, babilônios, chineses e indianos instalaram rodas d'águas ao longo dos rios Nilo, Tigre e Eufrates, Amarelo e Ganges, destinadas a elevar água para fins irrigatórios ou então para a moagem de grãos. As primeiras rodas d'água eram máquinas pesadas, de baixa velocidade e reduzida eficiência; eram flutuantes ou de impulsão inferior, utilizando somente a energia da água corrente, princípio por si só incapaz de produzir um rendimento satisfatório. A evolução dessas rodas foi bastante lenta, mudando-se da roda de impulsão inferior para a de impulsão superior, que incorpora a energia do peso da água, além da água corrente. Heron, em 120 d.C., já tinha desenvolvido preliminarmente um aparelho que funcionara pela reação de um jato de vapor d'água, e sua aplicação as turbinas hidráulicas aconteceram com os trabalhos teóricos de Euler e Burdin.

A grande mola propulsora do início do desenvolvimento das turbinas hidráulicas foi a revolução industrial do século XVIII, e deu-se principalmente nos trabalhos desenvolvidos pelos franceses.

Em 1738 Bernoulli publicou os fundamentos da hidrodinâmica e em 1754 Euler descreveu o funcionamento das máquinas a reação; Smeaton desenvolve o primeiro estudo de um modelo de roda hidráulica no ano de 1759.

Em 1824, Burdin, baseado em um trabalho teórico, idealiza uma máquina de fluxo centrífugo, a qual recebe o nome de “turbina”. Fourneyron, o mais brilhante discípulo de Burdin, iniciou, em 1827, a construção de turbinas hidráulicas de fluxo centrífugo, com saída de água ao ar livre.

Howd, nos Estados Unidos, em 1838, desenvolve uma turbina de fluxo centrípeto, buscando um melhor aproveitamento da energia hidráulica. Em 1849, Francis melhorou o desenvolvimento desta turbina, que inclusive recebeu o seu nome.

As turbinas axiais começaram a ser construídas a partir de 1837 por Henschel e Fontaine, aperfeiçoadas por Jonval em 1841, e por Kaplan, entre 1910 a 1924, que chegou a uma turbina axial com rotor tipo hélice de pás ajustáveis.

As rodas hidráulicas resultaram nas turbinas de ação, com o desenvolvimento dos trabalhos de Poncelet, em 1826. A turbina Pelton, patenteada em 1880, foi o resultado de um trabalho experimental efetuado em 1878, onde se criaram as conchas bipartidas e o bocal injetor.

Com a contribuição de diversos engenheiros da área da mecânica-hidráulica, como Fink, Voith, Schwankrug, Zuppinger, Doble, além dos já citados Francis, Kaplan e Pelton, chegou-se às modernas turbinas de reação e ação, usadas nas Usinas Hidrelétricas.

O uso das turbinas hidráulicas para a geração de corrente elétrica tem início por volta de 1870, e a exigência de potências cada vez mais crescentes implicou no

desenvolvimento de soluções para os problemas mecânicos - elétricos relativos aos mancais de suporte e a transmissão de forças por meio de engrenagens.

A sempre crescente demanda de energia elétrica pelos aglomerados urbanos que se desenvolveram ao longo do século XX, determinou a construção de milhares de Usinas Hidrelétricas, desde micro centrais, até gigantes do porte de Itaipu e Três Gargantas, na China.

A tecnologia empregada para geração hidrelétrica no Brasil está plenamente desenvolvida, exceto os pequenos aproveitamentos hidráulicos, pois a tecnologia das pequenas turbinas ainda não atinge bons rendimentos.

Como o aproveitamento dos potenciais energéticos dos sistemas de saneamento implica o desenvolvimento de soluções de baixa potência, o pleno aproveitamento desses potenciais vai depender do estágio de desenvolvimento desta tecnologia.

As turbinas Michell-Banki são bastante adequadas para esse tipo de aproveitamento, onde seu dimensionamento, características técnicas, vantagens foram estudados por Tiago (1986) e Junior (2000).

O estudo da utilização de bombas para geração de energia, substituindo as turbinas convencionais foi estudada por Viana (1986), implicando em grande economia para aproveitamento de pequenos potenciais.

Mauad (1995) estuda uma turbina de Reação com Pá de Simples Curvatura para Aplicação no Meio Rural, sendo que seu melhor desenvolvimento pode servir para a utilização em potenciais não convencionais, como nos sistemas de saneamento.

Os custos de empreendimentos envolvendo Pequenas Centrais Hidrelétricas podem ser levantados utilizando-se as metodologias desenvolvidas por Lima (1993) e Balarim (1996).

O desenvolvimento da solução técnica de uma pequena central hidrelétrica nos aspectos hidrológicos, hidráulicos, mecânicos, elétricos e civis são plenamente desenvolvidos por literaturas consideradas clássicas na área, como os tradicionais manuais da Eletrobrás de Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas (1985), e sua atualização ocorrida no ano de 2000, com a publicação das Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (2000), como também os trabalhos de Schreiber (1978), Souza (1999) e Macintyre (1983).

Os manuais estrangeiros de Harvey (1993) e Inversin (1986) complementam as bibliografias do item anterior.

Como no projeto de uma pequena central existe a possibilidade de impactos ambientais, estes estão discutidos por Pacca (1996), por Braga (1999), Raven (2004) e Wright (2002), detalhando todos os enlaces envolvendo energia, meio ambiente e recursos hídricos.

Linsley e Franzini (1978) detalham os diversos aproveitamentos dos recursos hídricos, envolvendo saneamento, geração de energia etc, os quais são objetos da dissertação.

No exterior há casos de geração de energia elétrica com a utilização da infraestrutura da indústria do saneamento, desde a década de 50, como o sistema de água da cidade de Plymouth (Reino Unido), Estação de Tratamento de Água de Crownill , onde foram utilizadas turbinas tipo Francis; esse sistema foi abandonado, mas o projeto foi retomado pela equipe britânica South West Hydro Group e funciona desde novembro de 1999, aproveitando um desnível de 13m (Fonte: Water Power & Dam Construction - Junho 2000).

Convém destacar o CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas, em Itajubá, que tem como objetivo promover o uso de pequenos potenciais hidráulicos como fonte de energia, para geração de eletricidade, disponibilizando amplas informações sobre o tema.

A bibliografia elencada é bastante ampla e completa e deve servir como base de consulta para o desenvolvimento de estudos/projetos de aproveitamentos energéticos em sistemas de saneamento ambiental.

3. SISTEMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

O saneamento tem como objetivo, através da adoção de várias medidas, garantir ao homem um ambiente com as condições que proporcionem o seu bem estar físico, mental e social, ou seja, a sua saúde.

A fixação de homem em qualquer região está intimamente vinculada a disponibilidade (quantitativa e qualitativa) da energia necessária a sua subsistência: luz solar, ar, água e alimento.

A sua eficiência em consumir energia não é total, resultando desta utilização diversos tipos de resíduos, predominando o esgoto e lixo.

O instinto que conduz o homem a se fixar próximo às fontes de energia não o sensibilizou, num primeiro momento, da necessidade de afastar seus resíduos.

Assim, existe um contato entre as fontes de energia e os resíduos, e o homem se submete paulatinamente ao consumo de energias impuras, cujas proporções podem se tornar indesejáveis a vida. Portanto, o agravamento das condições de salubridade de uma comunidade pode atingir níveis inadequados, prejudiciais à saúde e ao desenvolvimento da comunidade.

Com o aumento e a diversificação das atividades antrópicas, as ações do saneamento se tornam cada vez mais amplas e necessárias para garantir a qualidade ambiental indispensável ao homem.

Essas ações vão desde o suprimento de água potável à população, até o controle de lançamento de substâncias nocivas ao ambiente.

As atividades de saneamento compreendem, entre outras: abastecimento de água, sistema de coleta, afastamento e tratamento de esgotos; coleta e destino final do lixo; drenagem de águas pluviais; controle de insetos e roedores; controle dos alimentos e controle da poluição ambiental.

O saneamento básico é a condição essencial para o bem-estar humano, oferecendo situações de melhor produtividade e vida em sociedade.

Iremos descrever sucintamente as quatro atividades do Saneamento consideradas básicas: abastecimento de água; esgotamento sanitário; limpeza pública e drenagem, sistemas estes com diversos potenciais energéticos com possibilidades de serem explorados, informações estas obtidas das seguintes fontes: (Mota - 2000, Braga - 1999, Lislely – 1978, Raven – 2004 e Wright – 2002)

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os sistemas de abastecimento de água têm como objetivo proporcionar o suprimento desse líquido às pessoas, na qualidade indispensável à preservação de sua saúde e na quantidade necessária aos seus diversos usos, mas também pode ter como objetivo o abastecimento industrial e outros.

O abastecimento de água para consumo humano deve considerar os aspectos qualitativos e quantitativos.

A água a ser utilizada pelo homem deve ter qualidade adequada, ou seja, não conter impurezas com níveis superiores aos padrões de portabilidade os quais foram fixadas no Brasil, pela Portaria nº 36, de 13 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde e atualizada pela Portaria 1469 de 29 de dezembro de 2000.

É importante observar que como o conceito de qualidade de água boa para o consumo humano é dinâmico, os parâmetros que definem seus valores limites devem ser mantidos sob constante revisão. Isso tudo em função dos avanços que vão sendo alcançados no desenvolvimento de tecnologia de detecção de elementos

tóxicos, bem como em função dos novos elementos, que freqüentemente são lançados no meio ambiente e novos efeitos sinérgicos que podem ser descobertos.

O consumo de água, por habitante, varia em função de vários fatores: poder aquisitivo e nível de educação sanitária da população, além do tipo de cidade e suas características climáticas.

O abastecimento de água pode ser feito de forma individual e coletiva, sendo esta última recomendada para as áreas urbanas.

A água para o consumo humano pode ser obtida de várias formas:

- Captação de águas de chuva (cisternas);
- Mananciais subterrâneos: fontes de encostas, poços;
- Mananciais superficiais: rios, riachos, lagos, lagoas, açudes e represas.

Nem sempre a água está disponível nos mananciais com a qualidade recomendada para o consumo humano, havendo necessidade de tratamento para torná-la potável.

As águas de fontes de encostas e de poços profundos estão menos sujeitas a contaminações do que as de poços rasos e mananciais superficiais.

Nos sistemas coletivos de água, é comum serem utilizados os poços, as fontes de encostas e os mananciais superficiais de água.

O abastecimento de água deve ser feito considerando a quantidade necessária aos diversos usos da mesma. Além da ingestão, o homem utiliza a água para diversos outros fins, tais como a preparação de alimentos, lavagem de utensílios, higiene pessoal, lavagem de roupas, afastamento de dejetos, higiene de ambiente e outros.

Fazem parte de um sistema de abastecimento de água: o manancial, a captação, tratamento, reservatórios, rede de distribuição e estações elevatórias. A Figura 1 apresenta exemplos de Sistemas de Abastecimento de Água.

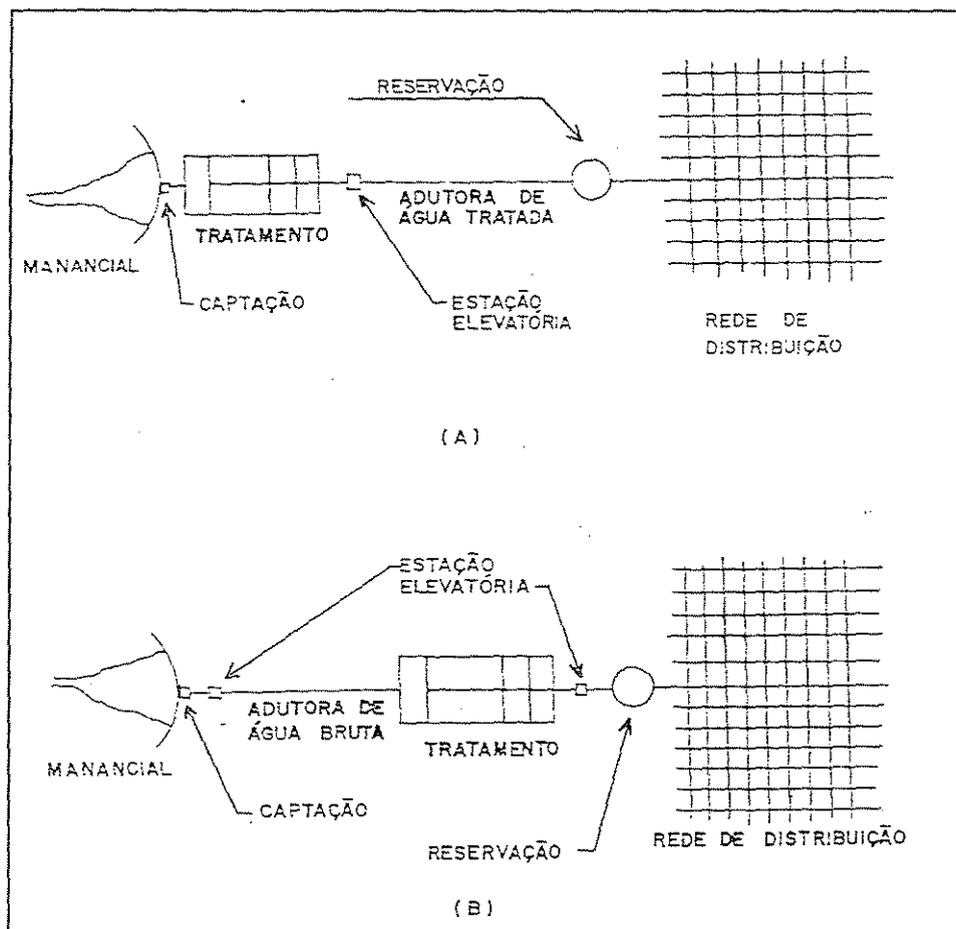


Figura 1 – Exemplos de Sistemas de Abastecimento de Água – (Mota – 2000)

3.2 SISTEMAS DE ESGOTOS

Esgoto é o termo usado para caracterizar os dejetos provenientes dos diversos usos da água, como doméstico, comercial, industrial, agrícola, em estabelecimentos públicos e outros.

Esgotos sanitários são os dejetos líquidos constituídos de esgotos domésticos e industriais lançados na rede pública e águas de infiltração.

Resíduo líquido industrial é o esgoto resultante dos processos industriais. Esses esgotos devem ser coletados e tratados antes de serem lançados no solo ou em corpos d'água.

Os esgotos sanitários contêm cerca de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos e tem composição conhecida, com algumas variações, em função das características da cidade, do clima, da situação econômica e dos hábitos da população; podem conter microorganismos patogênicos e carrear substâncias químicas tóxicas, além do que a matéria orgânica presente nos esgotos domésticos provoca o consumo do oxigênio dissolvido na água, quando lançado nos mananciais.

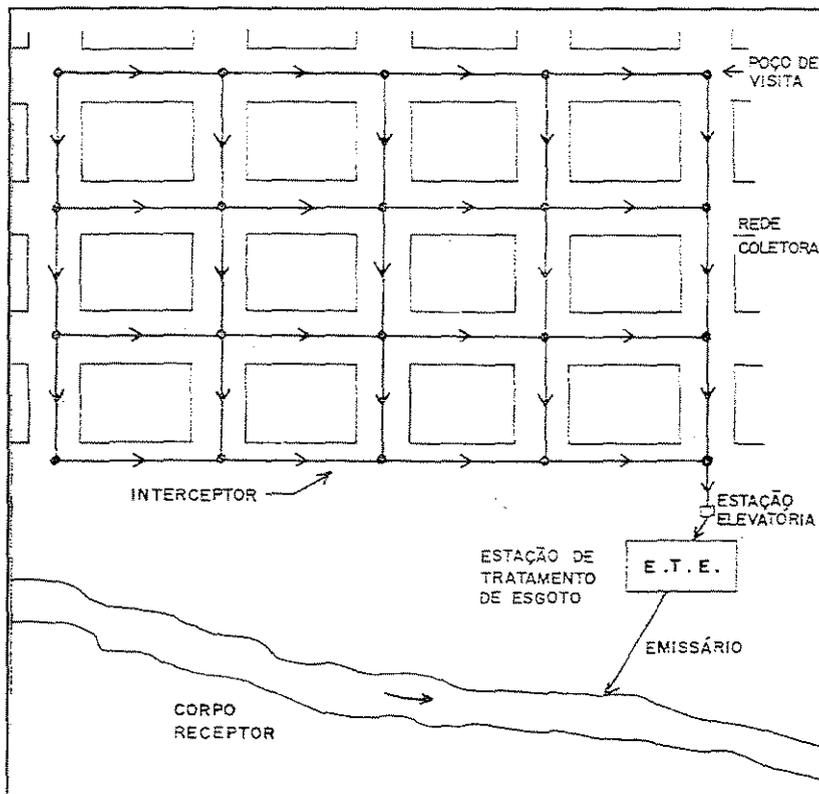


Figura 2 – Esquema de um Sistema Coletivo de Esgoto - (Mota – 2000)

O esgoto então precisa ser coletado e ter um destino adequado, de forma que seja evitada a transmissão de doenças ao homem e minimizados os seus impactos sobre o meio ambiente.

Nas cidades, as soluções para o esgoto são coletivas, compostas de uma rede coletora e de uma estação de tratamento para as águas residuárias, conforme Figura 2.

Nos sistemas coletivos de esgotos, é importante a escolha do corpo receptor do efluente das estações de tratamento; mesmo tratado, o esgoto ainda contém impurezas que podem ocasionar poluição dos recursos hídricos.

O tipo de tratamento a ser aplicado ao esgoto vai depender de suas características, do manancial onde o mesmo será disposto e do uso da água a jusante do local de lançamento de efluente. A Figura 3 apresenta um esquema de uma ETE-Lodos Ativados, muito utilizada no Brasil.

Os processos de tratamento de esgoto podem ser agrupados nos seguintes níveis: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário.

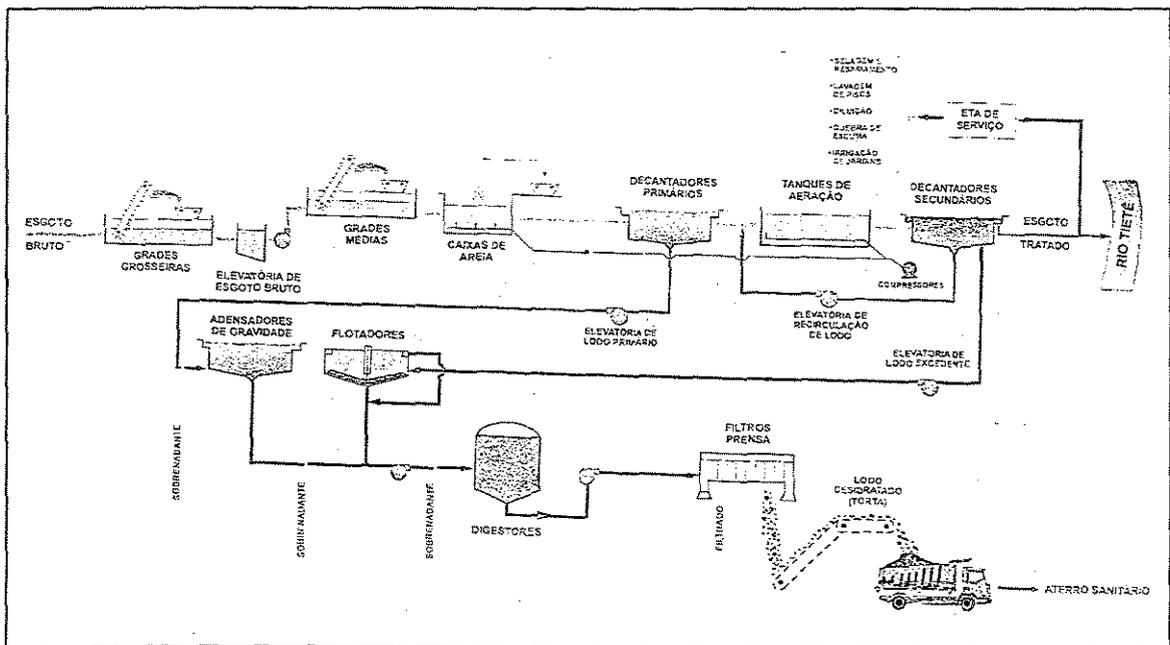


Figura 3 – Esquema de uma ETE – Lodos Ativados – (Sabesp - 2000)

3.3 SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

A drenagem de águas pluviais é um problema que tem se agravado nas cidades, como consequência do tipo de ocupação realizada pelo homem.

O desmatamento, a pavimentação do solo, as construções, os movimentos de terra, os aterros de reservatórios e cursos d' água, as alterações no escoamento, são responsáveis pela redução da infiltração e aumento do volume superficial de água, criando sérios problemas de drenagem.

Os sistemas de drenagem têm por objetivo garantir o adequado escoamento das águas pluviais. Muito mais do que obras visando proporcionar o transporte das águas, a drenagem pode ser vista dentro de um enfoque global, que considere o sistema hídrico de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica, como um todo. Os sistemas de drenagem podem ser divididos em macro e micro. Os sistemas de macro drenagem concentram suas ações no corpo hídrico principal da bacia com tratamento desse corpo hídrico diretamente (aprofundamento da calha, tratamento das encostas/alargamento) e ações preventivas que assegurem o escoamento das águas, respeitando, o máximo possível, as condições naturais.

A abertura e pavimentação de vias em uma cidade resultam sempre na necessidade da execução de sistemas de micro-drenagem, constituídos de dispositivos de captação e de escoamento das águas pluviais, onde o principal objetivo é a proteção da comunidade contra inundações e a preservação da infraestrutura viária.

O escoamento das águas pluviais é feito, em grande parte, pelas superfícies das vias públicas e a partir de momento que a capacidade de escoamento das vias está no limite, criam-se as bocas de lobo e as tubulações. A Figura 4 apresenta um esquema de um Sistema de Drenagem.

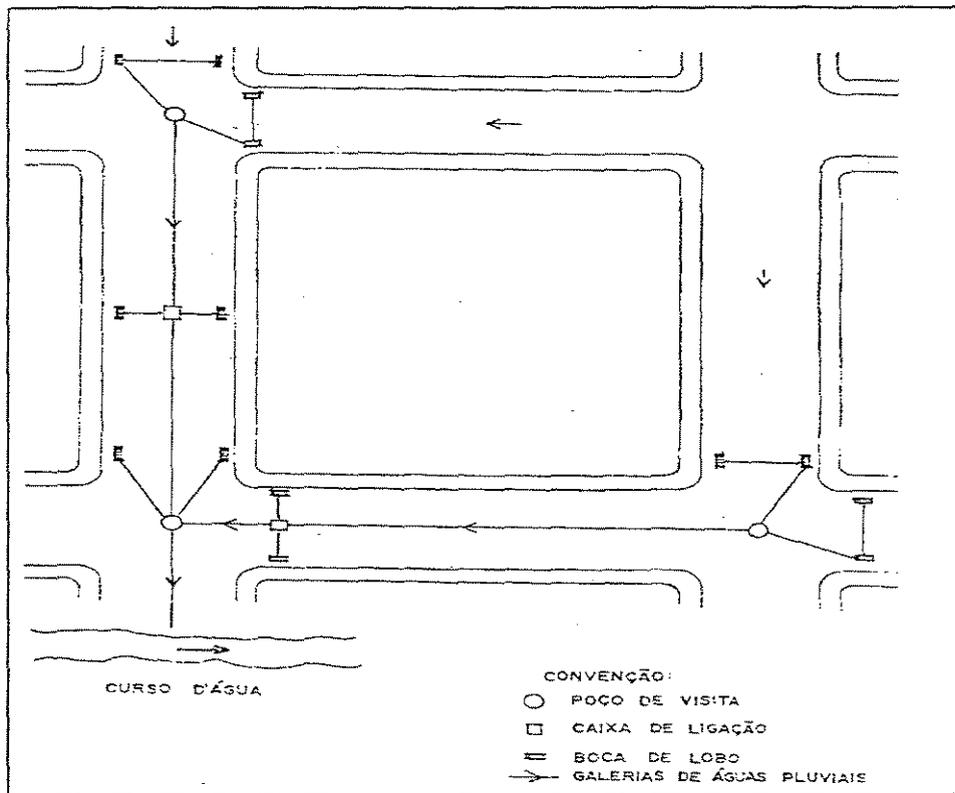


Figura 4 – Exemplo de um Sistema de Drenagem de Águas Pluviais – (Mota – 2000)

3.4 SISTEMAS DE LIMPEZA PÚBLICA

A poluição do solo urbano é proveniente dos resíduos gerados pelas atividades econômicas que são típicas das cidades: as indústrias, o comércio e os serviços, além dos provenientes do grande número de residências presentes em áreas relativamente restritas. A poluição do solo urbano por resíduos sólidos é o problema maior e mais comum, pois as quantidades geradas são grandes e características de imobilidade impõem grandes dificuldades ao seu transporte no meio ambiente.

O lixo, resíduo sólido das atividades humanas, constitui, cada vez mais, um problema ambiental, principalmente nas cidades, o qual tende a se agravar, à medida que crescem os aglomerados urbanos.

Limpeza Pública ou urbana é o conjunto de atividades que permite o adequado estado de limpeza de uma cidade, sem prejudicar a qualidade do ambiente, inclusive na região que a circunda. Entre essas atividades, destacam-se as relacionadas ao acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição dos resíduos sólidos. A disposição e tratamento podem ser feitos de várias maneiras. A mais comum, utilizada pela maioria das cidades brasileiras, consiste em simplesmente lançar e amontoar o lixo em terrenos baldios, dando origem aos lixões. As formas tecnicamente adequadas mais comuns para a disposição e tratamento do lixo são o aterro sanitário, a compostagem e a incineração.

No aterro sanitário o lixo é lançado sobre o terreno e recoberto com solo do local, formando camadas. A própria movimentação das máquinas de terraplanagem compacta o lixo, que tem assim reduzido seu volume, como mostra a Figura 5.

A compostagem do lixo é um aperfeiçoamento e uma intensificação, através de emprego de equipamentos mecânicos, daquilo que o agricultor utilizou desde a remota antiguidade, para a produção do que se denominou o “composto” e que nada mais é do que o resultado da biodegradação aeróbia dos resíduos.

A incineração do lixo é procedida em usinas de incineração nas quais o lixo é reduzido a cinza e gases decorrentes da sua combustão. É um processo caro, com elevado custo de operação e manutenção, com o elevado vulto de investimentos para dotá-la de equipamentos e controles adequados, além do alto impacto no meio ambiente.

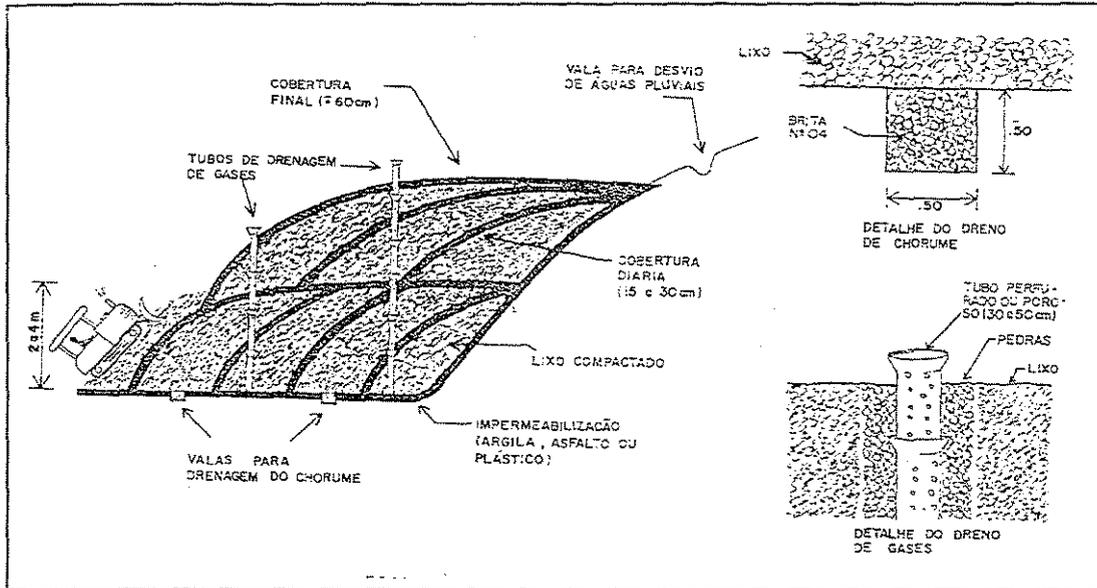


Figura 5 – Esquema de um Aterro Sanitário – (Mota - 2000)

4. PANORAMA DO SANEAMENTO NO BRASIL

Conforme relatado por Rezende e Heller (2002), as demandas geradas pelas sociedades modificaram-se e intensificaram-se ao longo do tempo, mas as ações visando a garantia da salubridade são observadas desde as civilizações antigas, há mais de seis mil anos, sob a forma de sistemas de abastecimento de água e de disposição de efluentes. As civilizações antigas conseguiram estabelecer uma associação entre a ausência de saneamento e a presença de doenças. Na idade média houve um grande retrocesso com a ausência de cuidados básicos com a saúde, tendo como consequência grandes epidemias durante esse período.

Com o advento da revolução industrial, os núcleos urbanos cresceram e a população se adensou deteriorando suas condições sanitárias, provocando um aumento do risco de epidemias. As doenças passaram a ser um entrave ao sistema de produção, que atingiu vários países europeus e os Estados Unidos.

Até meados do século XVIII, o estado brasileiro era praticamente ausente nas ações ligadas à saúde e saneamento, já que Portugal só se interessava em explorar as riquezas do país. A baixa densidade populacional nas poucas cidades existentes diminuía os riscos de epidemias.

Uma das maiores conquistas da coletividade foi o fornecimento de água à população por chafarizes, poços, sistemas de aquedutos, a partir do século XVIII, mas a população carente pouco se beneficiou, tendo que buscar água cada vez mais longe, à medida que as cidades iam crescendo e seus mananciais sendo poluídos.

O Rio de Janeiro inaugurava, em 1723, um aqueduto e chafariz no atual Largo da Carioca, que seria então o primeiro sistema de abastecimento de água no país com captação no Rio Carioca, mas as primeiras obras de saneamento no Brasil foram realizadas durante a estada de Maurício de Nassau (1637- 1644) no período da ocupação holandesa no Nordeste: construíram-se canais, diques e aterros.

A situação de calamidade que se instalara nas cidades brasileiras em meados do século XIX em função de sua total insalubridade teve como consequência uma série de epidemias. Nessa época, a população brasileira triplicou. O número de habitantes passou de 4,6 milhões em 1819 para 14,3 milhões em 1890. Esse aumento populacional contribuiu para o aparecimento de novas vilas e cidades e provocou adensamento populacional em cidades já existentes.

Epidemias de febre amarela, cólera e varíola eram comuns em todo território brasileiro, atingindo drásticas proporções nas cidades mais populosas.

É no final do século XIX e início do XX que o estado começa a assumir os serviços de saneamento como atribuição do poder público e os transfere a iniciativa privada, principalmente para empresas de capital inglês (Companhia *City*) que na época tinham hegemonia no mercado brasileiro.

Inicia-se então um processo de modernização das cidades, principalmente para se criar condições básicas ao desenvolvimento das atividades econômicas, como no Rio de Janeiro e Santos, onde mereceu destaque a atuação do engenheiro Saturnino de Brito, entre os anos de 1893 e 1923.

A cidade do Rio de Janeiro foi a primeira capital brasileira a possuir um sistema de coleta de esgotos. A “*The Rio de Janeiro City Improvements Company Limited*” assumiu a concessão deste serviço.

Na cidade de São Paulo, a falta de água potável levou alguns empresários paulistas a organizarem, em 1877, a Companhia Cantareira de Águas e Esgoto, sendo que a partir de 1892, o estado passa a administrar os serviços através da Repartição de Águas e Esgotos (RAE).

As companhias privadas, das quais a maioria possuía capital estrangeiro em sua composição, teve uma atuação bastante mediana na realização dos serviços de saneamento que se obrigaram, e foram encampados pelo Estado, a partir de 1893, ficando sob administração direta dos municípios, estados ou união, através de diretorias, repartições e inspetorias. Apenas duas das companhias privadas de saneamento resistiram à encampação dos serviços pelo Estado: a *City*, companhia responsável pelo esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, que manteve a concessão dos serviços até 1947, e a *City of Santos*, empresa de saneamento da cidade de Santos, cuja concessão durou até 1953.

Um instrumento que possibilitou a interferência da União nas esferas estaduais e municipais foi a criação de Comissões de Saneamento, composta pelos melhores técnicos do país. Essas comissões elaboravam os projetos para os sistemas de saneamento, executavam obras e promoviam programas envolvendo educação sanitária. A Comissão de Saneamento do Rio Grande do Sul foi a mais duradoura, mantendo-se entre 1917 a 1936. Saturnino de Brito chefiou diversas comissões sanitárias, atuando na elaboração de projetos e obras de saneamento nas cidades de Santos, Curitiba, Uberaba, Poços de Caldas, Rio de Janeiro, Campos, Aracaju, Recife, Salvador, João Pessoa, Olinda, Nazareth, Timbaúba, Gomeleiro, Palmares, Jaboatão, Vitória, Gravatá, Bezerras e Caruaru.

Em fins de 1940 e início de 1950 foram criados os SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), na forma de autarquias municipais, diretamente controlada pelos municípios, com a finalidade de criar uma estrutura de serviços com autonomia administrativa e financeira, buscando agilidade para a solução de problemas de setor.

Em 1953 foi realizado o Primeiro Plano Nacional de Financiamento para Abastecimento de Água, no segundo governo de Getúlio Vargas que, infelizmente encontrou obstáculos na insuficiência de recursos humanos, aliada a incapacidade da indústria em atender a demanda, além de falta de recursos financeiros.

No final da década de 1960 e início de 1970, a liberação de empréstimos do BID passou progressivamente a condicionar a liberação do empréstimo a

transferência da concessão dos serviços de saneamento as empresas estaduais de economia mista, mais capacitadas, com melhor suporte técnico-administrativo para a implantação, ampliação e operação de sistemas eficientes de saneamento. A constituição da CESBs, a partir de 1962, fez a implantação deste modelo ser adotado por todos os estados brasileiros.

Em São Paulo, região metropolitana, a SABESP foi criada em 1973, incorporando a COMASP e SANESP e absorveu o patrimônio da SAEC e parte da SBS, SANEVALE e FESB, que prestaram serviços a SABESP até 1975, sendo então incorporados. Essa mudança no setor de saneamento, com o fortalecimento da CESBs e enfraquecimento do poder municipal, consolidou a hegemonias do poder central sobre o local.

Em 1967 foi criado o BNH – Banco Nacional de Habitação, que tinha como um de seus objetivos promover e controlar a política nacional de saneamento e tornou-se a maior fonte de recursos para o setor, conduzindo ao monopólio dos serviços de saneamento pelas companhias estaduais.

4.1 O PLANASA – PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO

Formulado em 1971, objetivava inicialmente atender as metas estabelecidas pelo Plano de Metas e Bases para a Ação de Governo no setor de Saneamento. Esse plano visava principalmente a criação de conjuntos integrados de sistemas municipais para a viabilização da operação dos sistemas de água e esgotos e redução de seu custo operacional, tarifação adequada e atuação de forma descentralizada, através das CESBs.

O PLANASA excluía os municípios dos processos de financiamento, criando um ambiente favorável ao consentimento dos governos municipais para a transferência dos serviços às companhias estaduais.

A aplicação de recursos do PLANASA priorizou o abastecimento de água, em detrimento das demais ações que compõem o saneamento básico, como a coleta e a disposição adequada de esgotos sanitários e resíduos sólidos domiciliares, a

drenagem urbana, o controle de vetores, com predominância das ações em regiões mais desenvolvidas, como o Sul e Sudeste, e nos centros urbanos, preferencialmente em áreas onde investimentos tem retorno garantido, tornaram ainda mais agudo o quadro de desigualdades sociais. As finalidades básicas do PLANASA foram:

- atingir uma cobertura de 80% da população urbana com abastecimento de água em 1980 e de 90% em 1990;
- atingir com uma cobertura de redes de esgotamento sanitário, as regiões metropolitanas, capitais e cidades de maior porte em 1980 e 65% da população urbana em 1990.

Com a aplicação do plano sendo posto em prática, um amplo aporte de recursos para investimento em saneamento proporcionou um aumento significativo no abastecimento de água, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população, conforme mostra os gráficos a seguir nas Figuras 6 e 7.

O PLANASA começou a entrar em colapso a partir da extinção do BNH, em 1986, ficando em estado de indefinição e instabilidade.

No final da década de 1980 e início de 1990, as CESBs, que já enfrentaram problemas referentes a dívidas, baixo retorno dos empréstimos contratados e não aplicação de tarifas compatíveis com os investimentos, viram esse quadro se agravar com a nova estrutura montada para o setor de saneamento, com clara intenção do Estado em transferir para a iniciativa privada os serviços, ou seja, a volta a um antigo modelo já rechaçado no início do século XX.

4.2 SITUAÇÃO ATUAL

A situação do saneamento no Brasil, apesar das melhorias oriundas dos investimentos do PLANASA, ainda é muito crítica. Menos de 60% da população brasileira é atendida por rede pública de coleta de esgotos, e o percentual submetido a tratamento é ainda insignificante (30%), com alto nível de distribuição de água nos centros urbanos e baixíssimos na área rural, conforme dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução de Indicadores de Saneamento no Brasil, em percentuais de domicílios urbanos ou rurais.

ÍNDICES DE COBERTURA	1970	1980	1990	2000
Água				
Domicílios urbanos – rede de distribuição	60,47	79,20	86,34	89,76
Domicílios rurais – rede de distribuição	2,61	5,05	9,28	18,06
Esgoto Sanitário				
Domicílios urbanos – rede de coleta	22,16	37,02	47,90	56,02
Domicílios urbanos – fossas sépticas	25,28	22,97	20,87	16,03
Domicílios rurais – rede de coleta	0,45	1,39	3,71	3,31
Domicílios rurais – fossas sépticas	3,24	7,16	14,4	9,59

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2000 – (Rezende e Heller 2002)

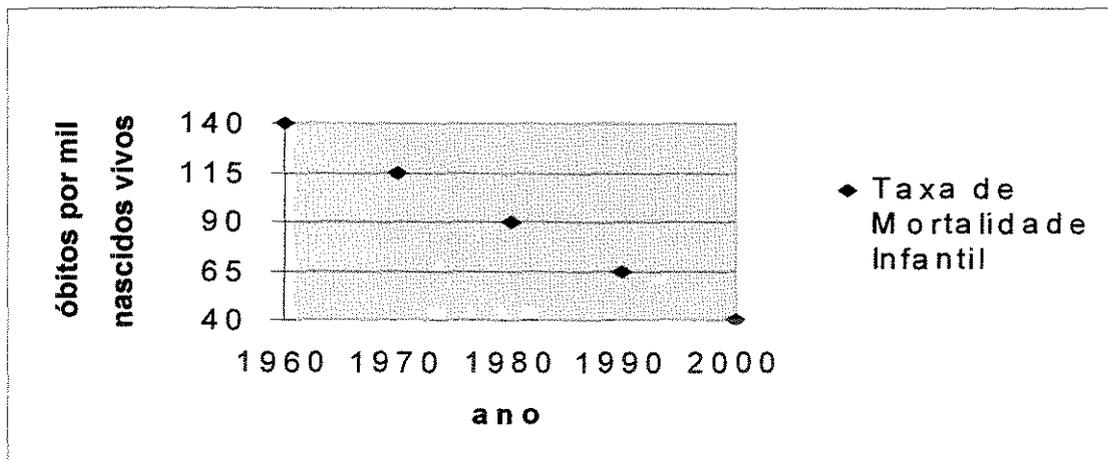


Figura 6 – Mortalidade Infantil, Brasil, 1960-2000
Fonte: CELADE (2000) de Rezende e Heller - 2002

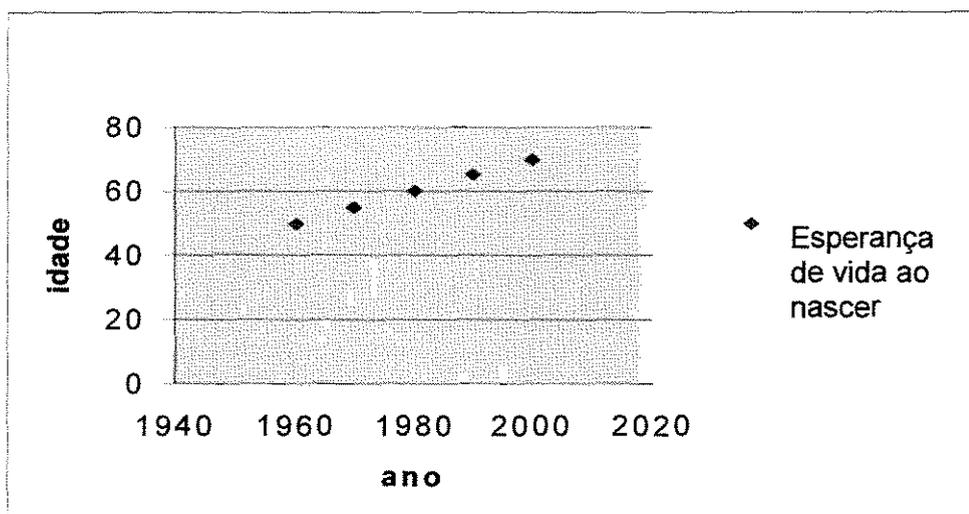


Figura 7 – Expectativa de vida ao Nascer, Brasil, 1960-2000
Fonte: CELADE (2000) de Rezende e Heller - 2002

O sistema de coleta de lixo vem sendo implementado nos centros urbanos, (Figura 8), chegando a atingir valores superiores a 60% em 1998, entretanto, a disposição final e o tratamento de resíduos, são realidades distantes para a grande maioria dos municípios.

As obras de drenagem urbana visando o controle de enchentes, o controle de vetores, assim como a coleta e disposição final dos resíduos sólidos, não foram contempladas pelo PLANASA, tendo ficado sob a responsabilidade, sobretudo, dos municípios, mas também dos governos federais e estaduais; os municípios não possuem recursos técnicos e econômicos para a implementação desses serviços.

Estima-se que para o setor se reerguer, são necessários investimentos de R\$ 178 bilhões nos próximos 20 anos para conseguir universalizar os serviços de água e esgoto.

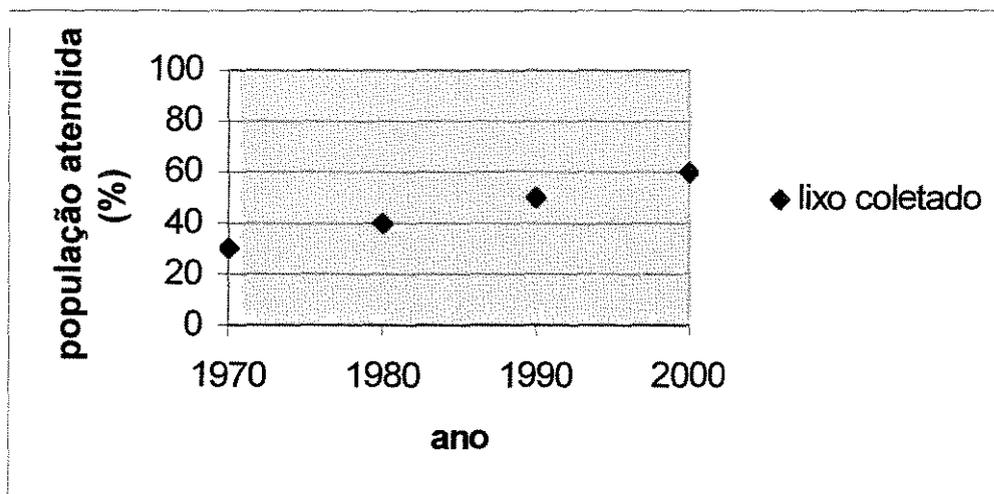


Figura 8 – Cobertura por Coleta de Lixo - Brasil 1978-1999
Fonte: PNAD – Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar/IBGE - 1978-1998 de Rezende e Heller - 2002

Em 2005 deve ser votado o projeto de lei que regulará o setor e a Política Nacional de Saneamento Ambiental deverá sair do papel, onde um dos principais problemas deverá ser solucionado, que é a titularidade dos serviços, com a tendência de fortalecimento dos municípios em relação ao estado, ou seja, o projeto terá um forte caráter municipalista.

Cerca de 75% dos serviços do setor são prestados por empresas estaduais, que detêm uma dívida de 25 bilhões, grande entrave para novos créditos. O setor conta com 58 empresas privadas que obtiveram concessão na década de 90. Essas empresas acessaram contratos de 3,2 bilhões por 25 anos. As CESBs são responsáveis pelos serviços de abastecimento de água de 67% dos municípios brasileiros; os serviços autônomos representam 32,5% e o setor privado atinge 0,5% das concessões.

Com a votação da nova lei, bastante polêmica, existe a esperança que o setor consiga melhorar os índices de atendimento, universalizar os serviços, levando as melhorias, principalmente para as populações de baixa renda, e modernizar o setor, aumentando sua eficiência, buscando formas mais apropriadas de prestação desses serviços e de financiamentos dos investimentos necessários.

5. PANORAMA DA GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

Estima-se que nos próximos 20 anos, a demanda total de eletricidade no mundo pode chegar a 2.300 TWh/ano, sendo que 28% (6.500 TWh) poderão ser supridos por hidroeletricidade.

Isso implica num grande aumento da capacidade instalada atual, com enormes investimentos, os quais muitos países não têm recursos para aumentar sua infra-estrutura de geração de hidroenergia.

Nos últimos 10 anos a taxa de crescimento da geração hidroelétrica no mundo tem sido de aproximadamente 2,3% dia (A.I.E. - Agencia Internacional de Energia); Canadá, China, Estados Unidos, Brasil e Rússia são os maiores produtores de hidroeletricidade, sendo que a soma da energia gerada por esses países representa mais de 50% do total mundial.

As micros, minis e pequenas centrais hidrelétricas podem suprir parte do fornecimento de energia necessária desses países, como também a utilização de outras fontes de energia, como eólica, solar, biomassa, marés, etc. com algumas vantagens em relação as grandes hidrelétricas, principalmente após a exploração quase que total dos potenciais mais vantajosos e rentáveis.

5.1 ENERGIA HIDRÁULICA

A geração hidrelétrica no Brasil tem garantido a produção de cerca de 90% da eletricidade consumida no país. A elevada disponibilidade de recursos hídricos e carência de reservas de combustíveis fósseis, levaram a uma forte dependência da geração de eletricidade nos potenciais hidráulicos disponíveis e, conseqüentemente, uma enorme participação da hidroenergia no desenvolvimento econômico brasileiro.

Com a desregulamentação do setor elétrico brasileiro, implicando na mudança dos atores dos setores de serviços públicos, a indústria de energia elétrica vem mudando de forma acelerada a maneira como os novos projetos são financiados, com o setor privado entrando pesadamente na área, financiando projetos que terão que se sustentar pelos seus méritos individuais em um mundo que busca rápidos e altos lucros.

5.1.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E O POTENCIAL HIDRÁULICO BRASILEIRO

O Brasil possui a maior disponibilidade hídrica do planeta, ou seja, 13,8% do deflúvio médio mundial, como mostrado na Tabela 2. A produção hídrica em território nacional é de 182.170 m³/s, conforme detalhado na Tabela 3, e se levarmos em consideração as vazões produzidas nas áreas das bacias Amazônicas, Paraná, Paraguai e Uruguai que se encontram em território estrangeiros, estimadas em 76.580 m³/s, essa disponibilidade hídrica atinge uma vazão média de 258.750 m³/s.

Tabela 2 – Deflúvio médio e Consumo de Recursos Hídricos no Mundo - Continente e Brasil

Regiões	Oferta (Deflúvio médio) 1998		Consumo	
	Total (km ³ /ano)	Per capita (m ³ /hab/ano)	Total (km ³ /ano)	Per capita (m ³ /hab/ano)
África	3.996,00	5.133,050	145,14	202
América do Norte	5.308,60	17.458,02	512,43	1.798
América Central	1.056,67	8.084,08	96,01	916
América do Sul*	10.080,91	30.374,34	106,21	335
Brasil* (13,8%)	5.744,94	34.784,33	34,47	246
Ásia	13.206,74	3.679,91	1633,85	542
Europa	6.234,56	8.547,45	455,29	625
Oceania	1.614,25	54.794,64	16,73	591
Mundo	41.497,73	6.998,12	3240	645

Fonte WRI - 1998 e Freitas – 1999 - em Santos - 2000

Tabela 3 – Informações Básicas sobre Bacias Hidrográficas brasileiras

Bacia Hidrográfica	Área (10 ³ km ²) %		População Densidade (Ano Base 1996) (hab/km ²) %			Vazão (m ³ /s)	Deflúvio Disponibilidade Médio	
							Anual (km ³ /ano)	Per capita (m ³ /hab/ano)
1 Amazonas	3.900	45,8	6.687,893	4,3	1,7	133,380	4.206,27	628.938,24
2 Tocantins	757	8,9	3.503,365	2,2	4,6	11.800	372,12	106.219,25
3A Atlântico Norte	76	0,9	406,324	0,3	5,3	3.660	115,42	284.063,36
3B Atlântico Nordeste	953	11,2	30.846,744	19,6	32,4	5.390	169,98	5.510,44
4 São Francisco	634	7,4	11.734,966	7,5	18,5	2.850	89,88	7.658,96
5A Atlântico Leste 1	242	2,8	11.681,858	7,4	48,3	680	21,44	1.835,71
5A Atlântico Leste 2	303	3,6	24.198,545	15,4	79,9	3.670	115,74	4.782,81
6A Paraguai	368	4,3	1.820,569	1,2	4,9	1.290	40,68	22.345,45
6B Paraná	877	10,3	49.924,540	31,8	56,9	11.000	346,90	6.948,48
7 Uruguai	178	2,1	3.837,972	2,4	21,6	4.150	130,87	34.099,88
8 Atlântico Sudeste	224	2,6	12.427,377	7,9	55,5	4.300	135,60	10.911,78
Brasil	8.512	100,0	157.070.163	100,0	18,5	182.170,00	5.744,91	36.575,46

Fonte: Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas -- ANEEL.

* IBGE, 1998.

Nota ** Dados referentes à área situada em território brasileiro. (em Santos -- 2000)

O Potencial Hidrelétrico Brasileiro conhecido referente a dezembro de 2002 é de aproximadamente 260 GW, dos quais encontra-se em operação cerca de 66,3 GW ou 25,5%, existindo, portanto, uma importante parcela a ser aproveitada.

Na Tabela 4 é mostrado O Parque Gerador Nacional, com predominância da geração hídrica sobre as outras formas de produção de energia elétrica.

Tabela 4 – Parque Gerador Nacional

<i>Tipo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Potência (MW)</i>	<i>% do Total</i>
Eólicas	10	22	0,03
PCHs	395	1.921	2,3
Hidrelétricas	107	64.330	78,9
Termelétricas	634	15.417	18,4
Nucleares	2	2.007	2,4
Total	1.148	83.697	100,00

* Fonte – MME - (dez/2002)

Há um desequilíbrio no atual aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica; existe uma enorme concentração de geração nas sub-bacias situadas na região sul e sudeste e pequenos aproveitamentos de recursos hídricos na região Norte e Centro-Oeste, onde esses recursos são abundantes (ANEEL - 2002).

5.1.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

Os grandes ciclos de desenvolvimento nacional sempre estiveram intimamente ligados ao uso público da hidroeletricidade. A melhora dos serviços públicos urbanos como linhas de bondes, água e esgoto, iluminação pública e a produção e distribuição de energia são a infra-estrutura necessária ao incentivo da produção e do transporte de mercadoria, que no início do século XX, eram o café e a borracha, exportados para o mundo. A evolução do parque gerador instalado

sempre esteve ligada a períodos de maior crescimento econômico, que implicavam num aumento da demanda de energia, conseqüentemente, na ampliação da oferta instalada. Igualmente, as épocas recessivas afetaram diretamente o ritmo de implantação de novos empreendimentos. Até a virada do século predominou a geração de energia elétrica através de centrais termoelétricas. Com a entrada em operação da hidrelétrica de Parnahyba (atual Edgar de Souza) SP e Fontes (RJ), esse quadro mudou a favor da energia hidrelétrica. As maiores taxas de crescimento da geração hidrelétrica, superiores a 9% a. a. foram registradas após os anos 50, nas décadas de 60 e 70, período coincidente com o “Milagre Brasileiro”, marcado por taxas de crescimento do PIB superiores a 6% a. a. Nas duas últimas décadas, porém, é perceptível a redução das taxas de crescimento da geração. A recessão econômica da década de 80 causou uma importante queda da taxa de crescimento do consumo de energia elétrica brasileira. O consumo total de eletricidade que cresceu 12% ao ano de 1970-80, foi reduzido para taxas de crescimento da ordem de 6,5% a. a. entre 80-90, ocasionando a formação de um excesso de energia elétrica disponível no país. A principal causa da diminuição do crescimento da demanda de energia elétrica foram os choques do petróleo ocorridos na década de 70.

Apesar da elevada participação da fonte hidráulica no sistema elétrico nacional, as enormes distâncias entre os diversos centros de demanda estimularam o uso de óleo diesel e combustível na produção de eletricidade em áreas isoladas como a região amazônica e o interior da região centro oeste. (Eletrobras – 2001, MME – 1985 e Mauad – 1995)

Tabela 5 – Brasil - Evolução da Potência Hidrelétrica e Termelétrica Instalada 1920 a 2008

Ano	Potência Hidrelétrica Instalada (MW)	Taxa Crescimento Anual (% a.a.)	Potência Termelétrica Instalada (MW)	Taxa Crescimento Anual (% a.a.)	Participação Hidrelétrica (%)
1920	370,1	—	105,6	—	77,8
1930	615,2	5,21	146,5	3,33	80,8
1940	1.009,40	5,08	234,5	4,82	81,1
1950	1.535,70	4,29	346,8	3,99	81,6
1960	3.642,00	9,02	1.158,10	12,81	75,9
1970	9.088,00	9,58	2.372,00	7,43	79,3
1980	25.584,00	10,90	5.768,00	9,29	81,6
1986	38.478,00	7,04	4.382,00	-4,48	89,8
1990	44.900,00	3,93	4.100,00	-1,65	91,6
1997	54.200,00	2,73	5.300,00	3,74	91,1
1998	56.052,00	3,42	5.277,00	-0,43	91,4
1999	59.548,00	6,24	7.064,00	33,86	89,4
2003*	68.463,00	3,55	13.784,00	18,19	83,2
2008*	84.665,00	4,34	20.000,00	7,73	80,9

Fonte: Freitas –1999, Eletrobras – 1998 em Santos - 2000

Nota: Considerou-se somente a metade da potencia instalada da Usina de Itaipu

6.300 MW de um total de 12.600 MW, a outra metade pertence ao Paraguai

5.1.3 PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar da predominância da geração hidrelétrica sobre outras fontes de energia, a médio prazo esta tendência tende a ser alterada. Nos últimos anos, a produção de eletricidade a partir de centrais térmicas e de novos projetos com fontes alternativas de geração tem se intensificado. A entrada de capitais privados no setor elétrico tende a favorecer investimentos na geração térmica. Previsões e planos do

setor elétrico indicam que, a partir de 1998, a participação das hidrelétricas no total da capacidade instalada no sistema brasileiro vem diminuindo com a tendência de passar de 91,4 em 1994 a cerca de 80,9% em 2008, conforme apresentado na Tabela 5. Essa participação decrescente deve-se a manutenção do programa nuclear brasileiro e ao advento do gasoduto Bolívia-Brasil, permitindo um aumento da oferta de gás natural. (Santos e Freitas – 2000)

5.2 AS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Até a década de 60, praticamente toda a energia do país era de geração hidrelétrica, geração realizada por usinas que hoje poderiam ser consideradas pequenas, trabalhando isoladamente e alimentando pequenas comunidades e setores agro-industriais.

Grande parte dos equipamentos utilizados por essas pequenas usinas na geração de energia, tais como turbinas, geradores, transformadores, condutos forçados e reguladores eram importados da Europa e Estados Unidos. Uma pequena indústria nacional fornecedora de turbinas e equipamentos nasceu entre os anos 50 a 70, de empresas de cunho totalmente familiar e até mesmo semi-artesanais, fundadas por técnicos operários estrangeiros.

Com os enormes potenciais hidrelétricos sendo aproveitados nas décadas de 60 e 70, as grandes indústrias estrangeiras se instalaram no país, particularmente em São Paulo, como a Voith, Mecânica Pesada (Alston), General Eletric, etc.

No início de 1984, o Ministério das Minas e Energia, através do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica – DNAEE e a Empresa Brasileira de Eletricidade S.A. – ELETROBRAS, criaram o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH), buscando com isso a geração de energia elétrica barata, procurando atender localidades isoladas e soluções de geração com baixo impacto ecológico.

Como principais objetivos a curto, médio e longo prazo destaca-se:

- Redução de consumo de derivados de petróleo, principalmente óleo diesel, na geração de energia elétrica;
- Complementação das condições básicas de formação de infraestrutura e expansão de fronteiras agrícolas, com melhoria da qualidade de vida local e geração de emprego;
- Alternativa de energização rural, evitando a extensão das redes de transmissão;
- Realização de projetos com pequeno prazo de maturação;
- Suprimento a indústria de tecnologia que utiliza intensamente eletricidade, em regiões dotadas de matéria-prima, onde se possa substituir a instalação de linhas de transmissão;
- Utilização de mão-de-obra local;
- Utilização de equipamento de fabricação brasileira.

No Brasil existem algumas particularidades que recomendam o uso de PCHs, destacando-se os seguintes pontos:

- Características hidrológicas, topográficas e geológicas altamente favoráveis;
- Completo domínio tecnológico, por parte das empresas brasileiras, do estudo projeto, construção, fabricação de equipamento e operação do PCH a baixos custos;
- Existência de milhares de pequenos núcleos populacionais e pequenos empreendimentos rurais, onde a PCH promoveria desenvolvimento e tornaria bem mais fácil a solução de problema de educação, saúde, alimentação, além de propiciar a seus habitantes toda gama de lazer que a eletricidade veicula.

Como as construções civis são simples, pode-se utilizar a mão-de-obra local para a construção das barragens, explorando os materiais disponíveis.

Até dezembro de 2002, existiam 395 PCHs em funcionamento no país, que somadas geravam uma potência instalada de 1921 MW, representando 2,3% do total do Parque Gerador Elétrico Nacional.

Hoje, o PROINFA – Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica, instituído pelo artigo 3º da Lei 10.438 de 26 de abril de 2002, substituiu o PNPCH, com o objetivo de aumentar a participação no Sistema Elétrico Interligado Nacional da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos (PIA) baseados em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. (ANEEL – 2005)

5.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

A Tabela 6 abaixo apresenta a classificação das micros, mini e pequenas centrais hidrelétricas no Brasil, conforme a portaria do DNAEE nº 125 de 17 de agosto de 1984 e nº 136 de 06 de outubro de 1987.

Essa classificação funcionou até dezembro de 1998, com a entrada em vigor da Lei nº 9648 de 27 de maio de 1998, onde a classificação de potência muda e passa a ser considerada uma pequena central hidrelétrica a usina com até 30 MW de potência, com reservatório cujo espelho d'água seja de até 3,0 km².

Tabela 6 – Algumas características utilizadas na classificação de PCHs.

Características	Micro	Mini	Midi
Potência máxima (kW)	100	1.000	30.000*
Altura máxima da barragem (m)	3	5	10
Vazão máxima da central (m ³ /s)	2	15	20
Número mínimo de grupos geradores para vazão máxima	1	2	2
Potência máxima do grupo gerador (kW)	100	1.000	30.000
Período máximo para implantação (meses)	6	12 a 24	18 a 36
Regularização	Q ₉₅ ou no máximo regularização diária		

* Espelho d'água de até 3,0 Km²

Fonte: Mauad - 2002, Eletrobrás – 2000 e MME - 1985

5.2.2 Estrutura

Os estudos da implantação de pequenas usinas hidrelétricas englobam uma gama de considerações intimamente ligadas a uma grande variedade de sítios, a variedade hidrológica, as diferenças regionais e mercado. Portanto, com todas essas variáveis, é possível uma grande diversidade de arranjos básicos e de soluções de engenharia, bastante diferenciados entre si e com características distintas, definidas pela região em que se localizam.

Estas diferenças se tornam mais acentuadas à medida que se trabalha com usinas menores e com disponibilidade energética e capacidades instaladas mais restritas. Apesar da variedade dos arranjos, existem arranjos e estruturas típicas nas pequenas centrais hidrelétricas que serão descritas na seqüência. Em relação à estrutura, as pequenas centrais hidrelétricas são formadas basicamente por elementos que têm a função de captar e conduzir a água para casa de máquinas – onde se processará a transformação da energia hidráulica em mecânica, e,

finalmente, em energia elétrica, e para um canal de fuga, o qual restituirá a água ao manancial.

Desses componentes básicos, destacam-se:

- Barragem - utilizada quando o curso do rio sofre variações no nível, cuja função principal é manter constante o volume do reservatório, sendo que o excedente de água será escoado através do vertedor;
- Tomada d'água - elemento que faz a captação da água e a conduz para a adução, o qual pode ser um canal ou uma tubulação de baixa pressão. Também tem função de reter corpos sólidos, que causem danos na turbina, por intermédio de grades e limpeza de areia, usando-se desarenador e sedimentos com um sedimentador;
- Sistema de adução - conjunto de estruturas destinadas a conduzir a água desde a tomada d'água até as turbinas. Podem ter vários arranjos diferentes, conforme a distância entre a tomada d'água e a casa de máquinas;
- Casa de máquinas - local onde estão instaladas a turbina, o gerador e o distribuidor. É na casa de máquinas que se processa a transformação da energia;
- Turbina máquina - que transforma a energia hidráulica em mecânica por meio de um rotor que, ao receber a energia que está sendo escoada da água, realiza movimentos de rotação, os quais nada mais são do que energia mecânica;
- Chaminé de Equilíbrio - É necessária a sua instalação quando o sistema adutor é composto apenas de tubos, e a distância da tomada d'água (barragem) até a casa de máquinas é muito grande, comparada com a altura da queda. A sua função é absorver as variações repentinas do escoamento de água, que ocorrem quando há uma rejeição de carga, protegendo o conduto de derivação contra os efeitos do golpe de aríete.
- Gerador – Equipamento ligado ao eixo da turbina, que girando, tem a capacidade de transformar energia mecânica em elétrica.

5.2.3 ARRANJOS TÍPICOS DE PCHS

- Arranjo Típico para Pequenas Centrais de Baixa Queda (até 3 m)

Pode ser um canal de adução com câmara de carga, o qual leva a água diretamente para a turbina na casa de máquinas, (Figura 9).

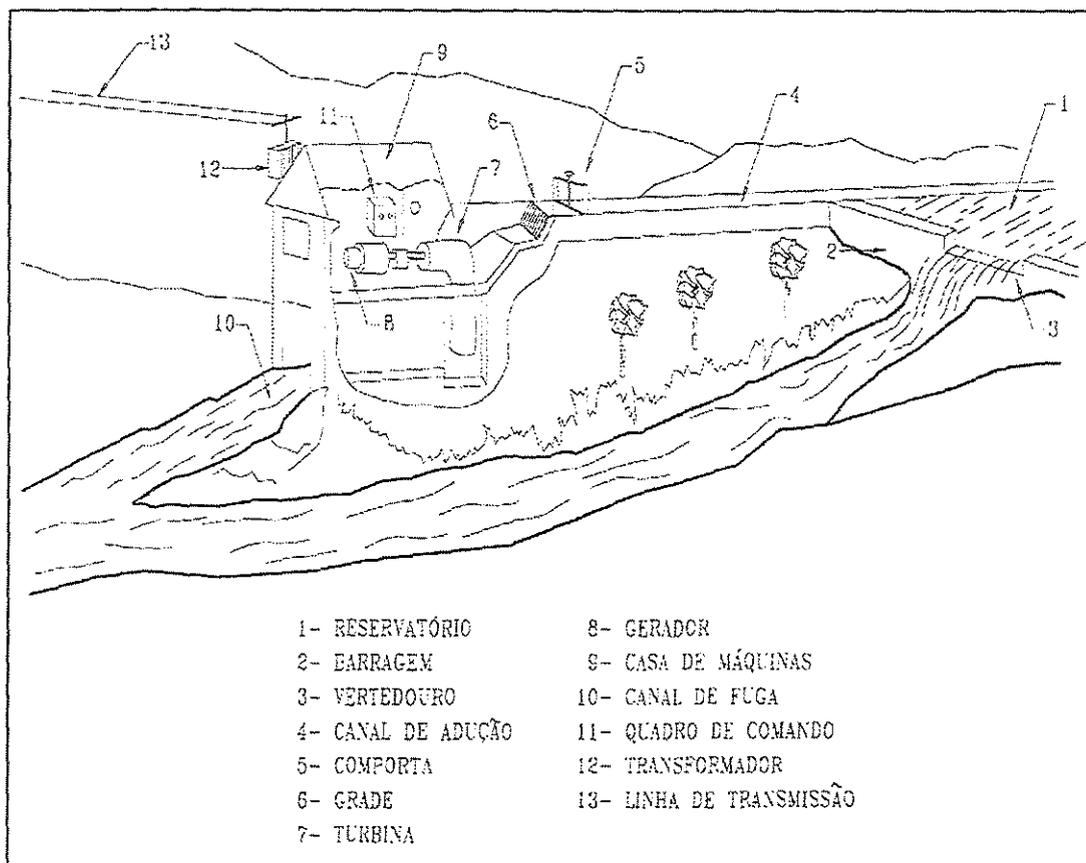
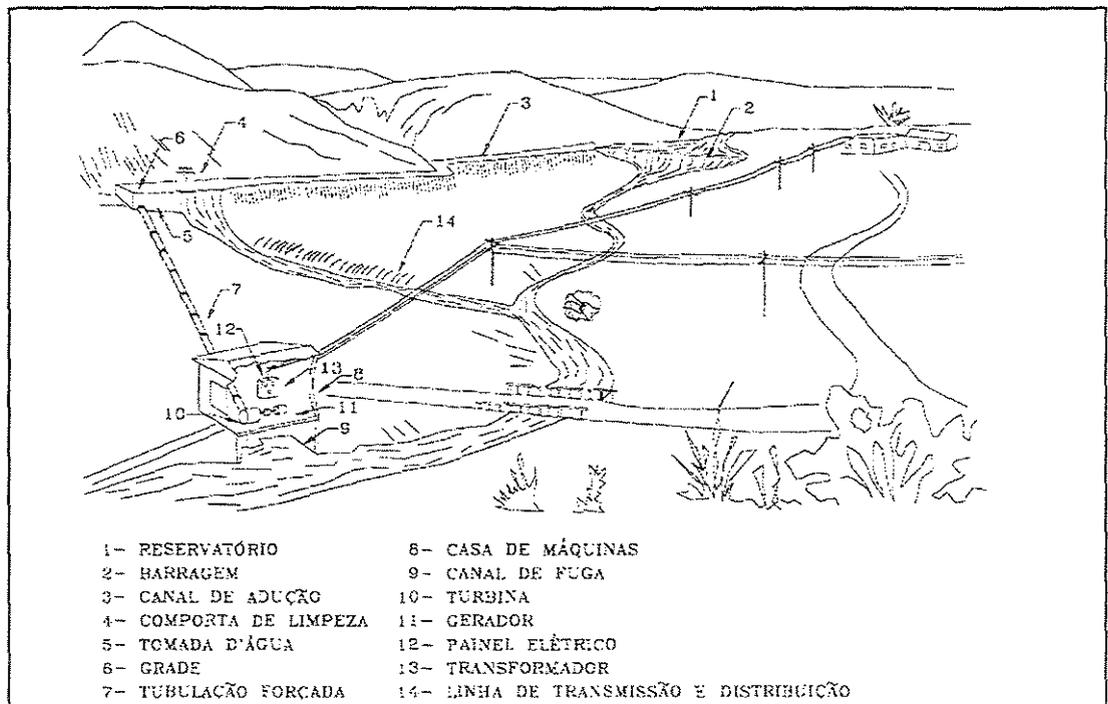


Figura 9 – Arranjo Típico para Pequenas Centrais de Baixa Queda –
(Mauad – 2002)

- Arranjo Típico de uma Pequena Central Afastada da Queda

Pode ser um canal de adução com uma câmara de carga, que, por sua vez, é ligada a casa de máquinas por uma tubulação.

Este é um arranjo típico para pequenas centrais onde a casa de máquinas é instalada longe da cachoeira, de maneira a aproveitar mais a queda. A Figura 10 ilustra um arranjo típico de uma pequena central afastada da queda.



**Figura 10 – Arranjo Típico de uma Pequena Central Afastada da Queda –
(Mauad – 2002)**

- Arranjo Típico para uma Pequena Central Afastada da Queda quando não é possível adotar Canal

Este arranjo é utilizado quando a barragem está a uma distância considerável da casa de máquinas e não é possível construir um canal ao longo da encosta. Pode ser uma tubulação de adução ligada a uma chaminé de equilíbrio e esta ligada a a casa de máquinas por meio de um outro tubo. (Figura 11)

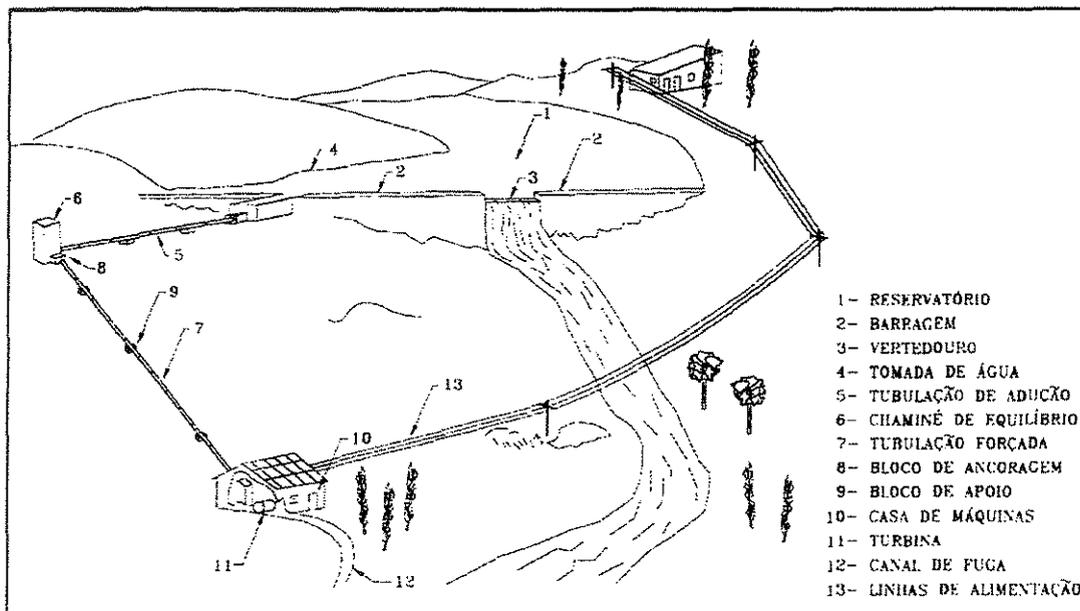


Figura 11 – Arranjo Típico para uma Pequena Central Afastada da Queda e quando não é possível Adotar Canal (Mauad – 2002)

- **Arranjo Típico para Pequena Central com Alta Queda e próximo a Barragem**

Pode ser uma tubulação ligada diretamente da barragem a casa de máquina. Este é um arranjo típico quando a distância entre a barragem ou a tomada d'água e a casa de máquinas é pequena e a queda é a superior a 3 m (Figura12).

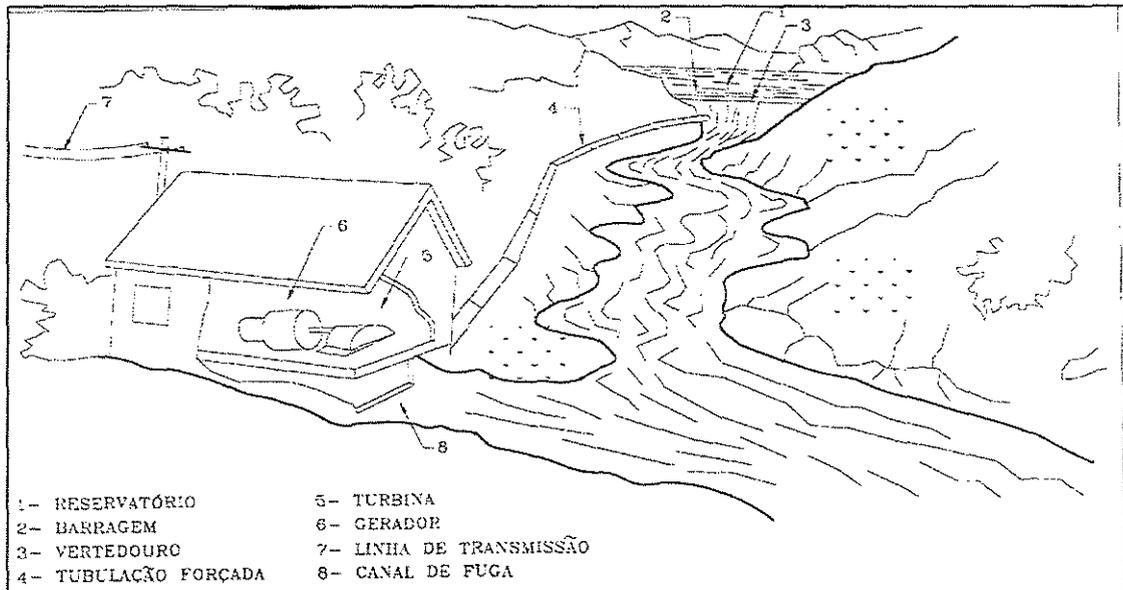


Figura 12 – Arranjo Típico para Pequena Central com Alta Queda e Próxima da Barragem – (Mauad – 2002)

5.2.4 VANTAGENS SÓCIO-ECONÔMICAS-AMBIENTAIS A IMPLANTAÇÃO DE PCHS

O aproveitamento dos potenciais hidráulicos de micro, mini e pequeno porte trazem grandes vantagens, quanto o aspecto ambiental:

- Pelo tamanho do reservatório (área alagada menor que 3,0 km² e pequenas estruturas de captação, condução de água e transformação de energia) a pequena central hidrelétrica se integra facilmente ao meio ambiente;
- Essas centrais podem não utilizar reservatório, diminuindo ainda mais seu impacto no meio ambiente;
- Por seu baixo impacto ambiental, a elaboração de estudos detalhados, na forma de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), podem não ser necessários, com decisão final do órgão ambiental licenciado.

Quanto ao aspecto econômico, pelo fato das PCHs serem estruturas relativamente pequenas, os investimentos para implementá-los são relativamente baixos, além do processo completo de implementação, projeto-contrução-início de operações serem mais curtos e com as novas legislações, serem dadas oportunidades para novos empreendedores no setor elétrico.

Quanto aos aspectos sociais, pelo grande potencial de pequenas quedas existentes no país totalmente inexplorados, principalmente em regiões remotas, seria a oportunidade de levar todas as vantagens do fornecimento de energia elétrica para populações sem esse benefício, contribuindo assim para o desenvolvimento do país.

Pelo fato da área alagada ser pequena, os problemas quanto ao reassentamento populacional seriam mínimos ou inexistentes. (Mauad – 2002, MME – 1985, Eletrobras – 2000, Koelle – 2002)

5.3 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS PARA PCHS

No século XVIII, as descobertas de Daniel Bernoulli (1700-1782) e Euler (1707-1783), foram a base para o desenvolvimento das máquinas hidráulicas. Bernoulli lançou em 1730, sua obra Hidrodinâmica. Euler inventou em 1751, uma roda de reação com distribuidor fixo e, em 1754, desenvolveu a equação que é a base para a compreensão do funcionamento das turbinas hidráulicas.

A partir daí, estudos foram realizados por vários pesquisadores, surgindo nos séculos XIX e XX as turbinas convencionais Francis (1847), Pelton (1880), Hélice (1908) e Kaplan (1912), utilizadas até os dias atuais.

O grande motor propulsor do progresso das turbinas hidráulicas foi a revolução industrial do século XVIII, além das necessidades da França de utilizar a energia de suas águas. O Anexo A apresenta os marcos importantes no desenvolvimento e evolução das turbinas hidráulicas.

5.3.1 TIPOS DE TURBINAS

As turbinas hidráulicas utilizadas nas pequenas centrais hidrelétricas devem ser selecionadas de modo a se obter facilidade de operação e manutenção, aliada a sua robustez.

Na escolha de uma turbina deve-se analisar seu preço, as garantias oferecidas pelo fabricante quanto a ausência de cavitação no rotor da turbina, ao imediato atendimento em caso de problemas na operação da máquina e rápida troca de componentes danificados.

Basicamente existem dois tipos de turbinas hidráulicas: de ação e de reação. Nas de ação, a energia hidráulica disponível é transformada em energia cinética para depois incidir nas pás do rotor, transformar-se em energia mecânica, tudo isso ocorrendo a pressão atmosférica. Nas turbinas de reação, o rotor trabalha sob pressão, diferente da atmosférica, onde o escoamento da água é submetido a uma variação de pressão e velocidade ao longo do rotor. Normalmente os tipos clássicos

mais utilizados de turbinas de ação são as rodas Pelton e nas de reação, as turbinas Francis e Hélice.

A escolha do tipo adequado baseia-se nas condições de vazão, queda líquida, altitude no local, na conformação da rotação da turbina com a do gerador e na altura de sucção, para as máquinas de reação. (ANEEL – 2002, Eletrobras – 2000, Macintyre – 1983, EFEI – 2002)

5.3.1.1 A TURBINA PELTON

São classificadas como turbinas de ação, por possuírem a característica de transformar a energia potencial hidráulica em energia cinética no jato injetor; esta energia cinética é convertida em energia mecânica no rotor da turbina.

O uso é adequado para locais onde haja altas quedas e pequenas vazões. Apresenta bons rendimentos onde há grande variação de carga, podendo ser operadas entre 10 a 100% de sua potência máxima. Podem ser de um jato, dois jatos, de quatro e seis jatos (conforme Figura 13), e o controle de vazão é realizado na agulha e injetor.

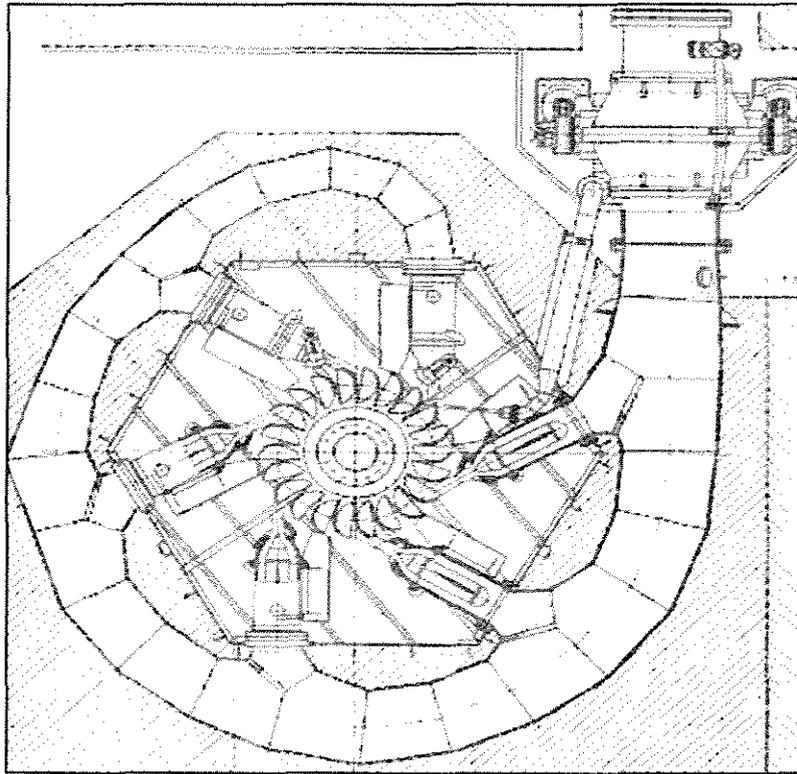


Figura 13 – Turbinas Pelton - (UNIFEI - 2004)

5.3.1.2 TURBINA FRANCIS

São máquinas de reação, escoamento radial (lenta e normal) e escoamento misto. É a turbina de maior uso em quedas de vazões médias. Apresenta um alto rendimento, sendo que este rendimento é tão mais alto quanto maior for a potência, o grau de fabricação e acabamento da turbina. Na Figura 14 mostrou-se um exemplo de Turbina Francis.

Para baixas potências o rendimento deve ficar em torno de 77%. Grandes potências apresentam valores superiores a 90%. Pode ser instalada em caixa especial (médias quedas – acima de 10 m) ou em caixa aberta (baixas quedas – abaixo de 10 m).

Nesta turbina, o rotor, o distribuidor, o tubo de sucção e parte do eixo ficam situados dentro de uma câmara, em comunicação direta com a câmara de carga e abaixo do nível mínimo de montante.

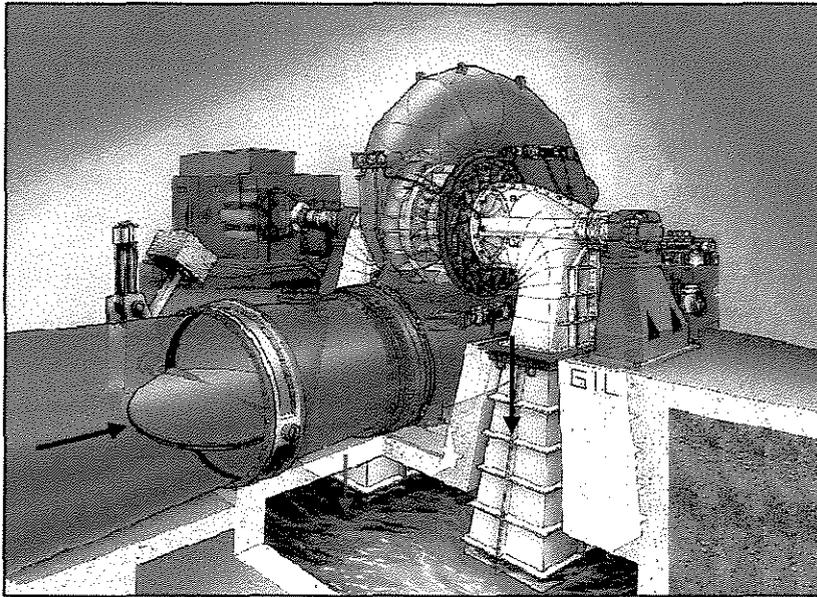


Figura 14 – Instalação Típica de Turbinas Francis – (UNIFEI – 2004)

5.3.1.3 TURBINA AXIAL

As turbinas axiais são máquinas de reação, de escoamento axial. Basicamente ela é um rotor similar a uma hélice de navio, ajustada internamente na continuação de um conduto. Possuem ótimos rendimentos, alcançando até 90%.

Nas turbinas, nos quais torna-se possível a variação das passos dos pás do rotor são chamadas turbinas “propeller” de pás variáveis ou turbinas Kaplan, sendo que esta é vista na Figura 15.

O controle de vazão é realizado nas pás do distribuidor, simples regulagem, para a turbina Hélice e pelas pás do distribuidor e pás do rotor para o caso da turbina Kaplan.

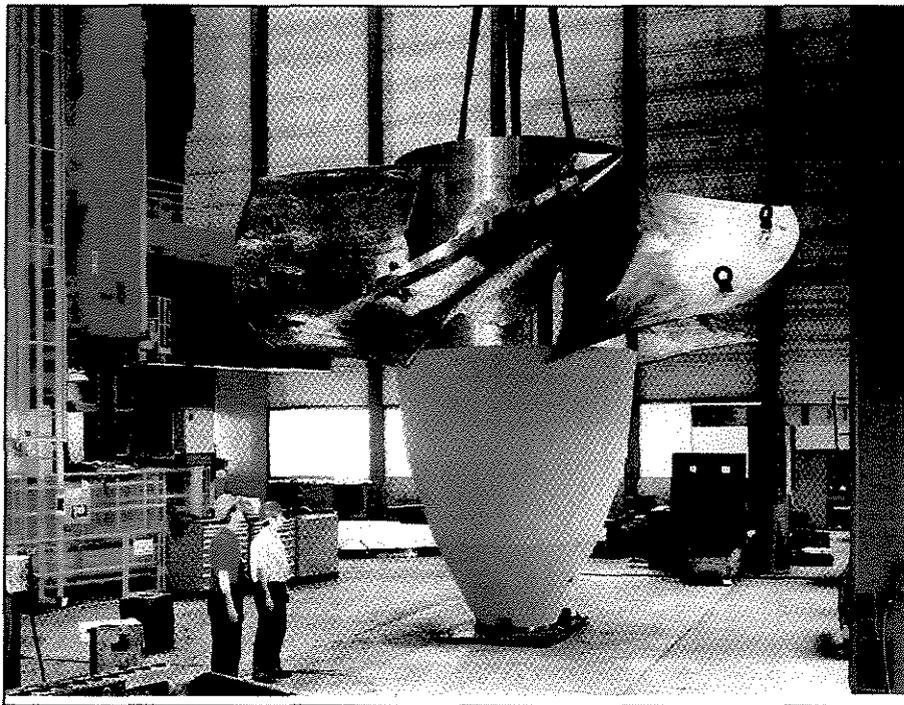


Figura 15 – Turbinas Kaplan - (UNIFEI – 2004)

A turbina axial deu origem a uma série de variantes, além do conceito da turbina Kaplan como: a turbina Bulbo, a turbina Sifão, a turbina S, tanto de jusante quanto de montante e a turbina Strafflo. Um exemplo de Turbina S é ilustrado na Figura 16.

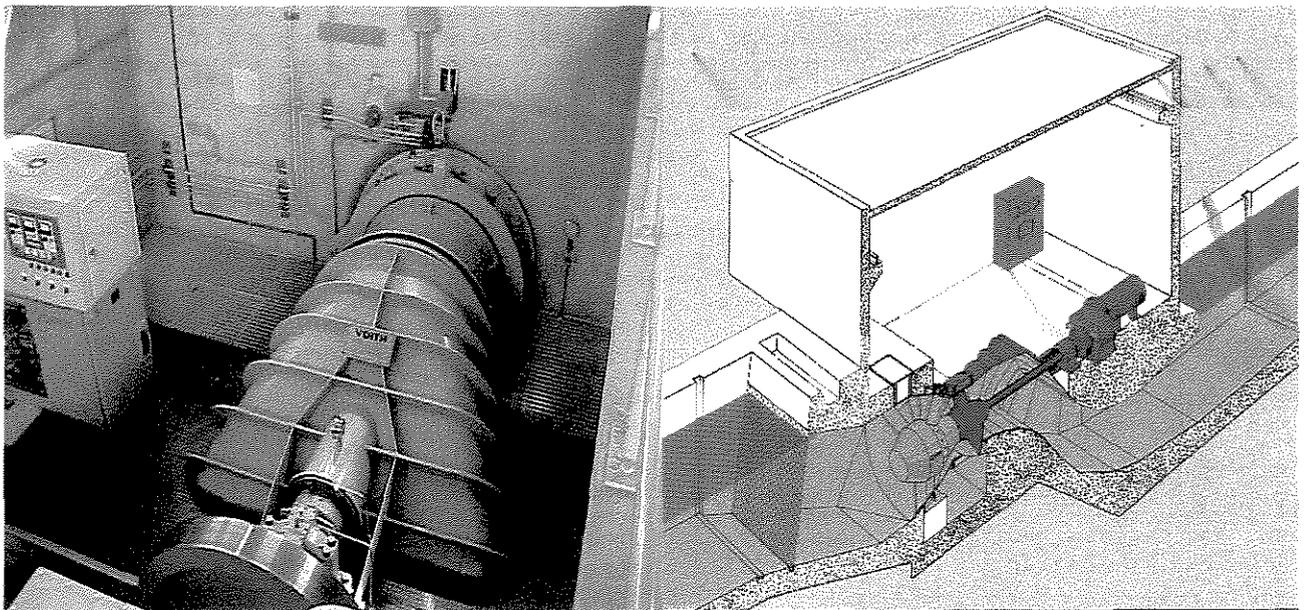


Figura 16 – Turbina Tubular “S” (UNIFEI – 2004)

5.3.1.4 TURBINAS NÃO CONVENCIONAIS

Turbina Michell-Banki ou de Fluxo Cruzado é um tipo de turbina muito utilizado no mundo, de tecnologia bastante simples, que requer poucos equipamentos para sua fabricação e manutenção, permitindo sua construção em oficinas pouco sofisticadas. É altamente indicada para uso em áreas rurais. O seu campo de aplicação atende a quedas de 3 a 100 metros, vazões de 0,02 a 0,2 m³/s, potencias de 1 a 100 kW, alcançando rendimentos entre 60 a 75%.

As Figuras 17 e 18 mostram desenhos esquemáticos de todas as suas partes constituintes.

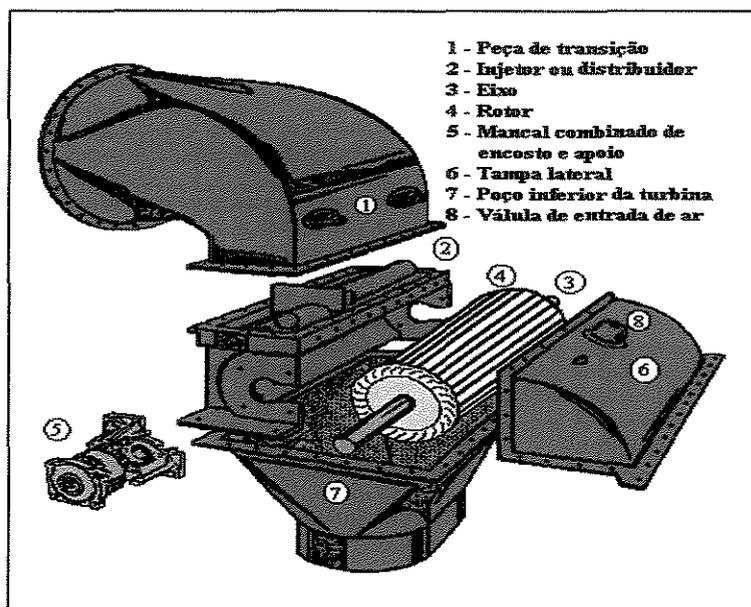


Figura 17 – Turbinas Michell-Banki - (UNIFEI – 2004)

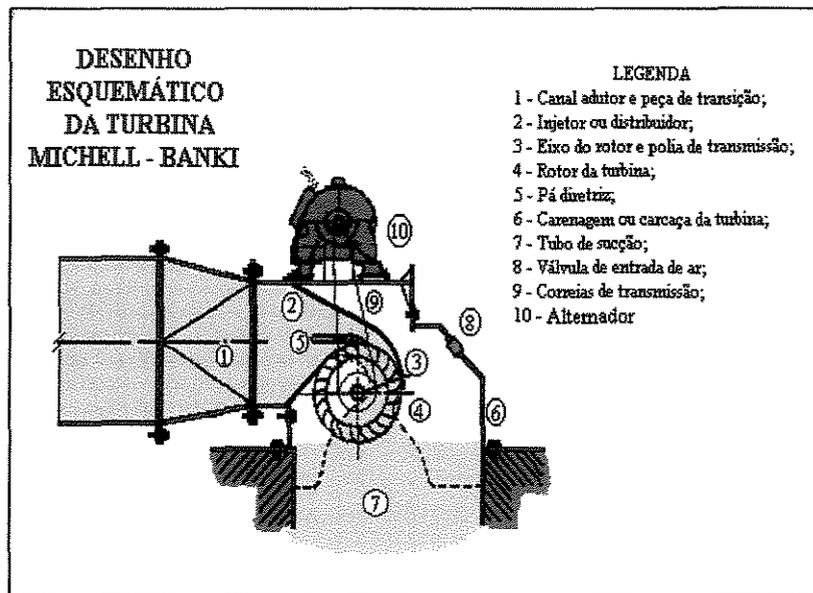


Figura 18 – Turbinas Michell-Banki – Desenho Esquemático – (UNIFEI – 2004)

Podemos ainda citar como turbinas não convencionais a turbina Turgo, Schele, BFT (bombas funcionando como turbina), turbina Hidrocinética (cata-água) e turbina Helicoidal (Gorlov) - (Tiago – 1986, Viana – 1986, UNIFEI - 2005).

5.4 FABRICANTES NACIONAIS DE TURBINAS

A indústria nacional de turbinas hidráulicas está perfeitamente apta a fabricar diferentes tipos de turbinas, desde os tipos clássicos como Pelton: com simples ou múltiplos injetores; Francis: com rotores simples ou gêmeos; hélice; Kaplan, nos mais diferentes arranjos e as não muito convencionais com o a do tipo Michell-Banki, com ou sem tubo de sucção.

Esses tipos de turbinas fabricados no país são capazes de atender a demanda das micros, minis e pequenas centrais hidrelétricas, demanda que tem aumentado com a reestruturação do setor elétrico e das medidas para facilitar a implementação das pequenas centrais hidrelétricas. Nos primórdios dessa indústria temos a Companhia Federal de Fundição, a Herm Staltz & Cia, com centenas de usinas instaladas pelo país. A Wirz Turbinas Hidráulicas Ltda atua desde 1920 em

Estrela, Rio Grande do Sul, a JOMECA Ltda, em São Paulo, a Hidráulica Industrial S/A, em Joaçaba, forneceram turbinas com até 4800 kW. Muitas dessas empresas não existem mais (JOMECA), pois não conseguiram sobreviver aos diversos problemas que o setor das pequenas centrais passou nas últimas décadas.

Atualmente, a BETTA Hidroturbinas, é bastante conceituada com a fabricação de turbinas de “Fluxo Cruzado” – Michell-Banki, como também a HISA Hidráulica Industrial S/A, a RM Equipamentos Ltda com tipos Francis e Pelton. A BETTA atende quedas de 2 a 40 metros, vazões de 20 a 1000 l/s com potências geradas de 0,3 c.v a 372 c.v.

A ALSTOM-ABB, antiga Mecânica Pesada, produz pacotes completos para todos os tipos de PCHs, integrando turbinas, gerador e sistema de controle. Ele tem soluções para quedas de 2 a 1000 m, vazão de 0,2 a 200 m³/s, potencias de 500 kW a 15000 kW, podendo chegar a 30.000 kW para altas quedas. Essa empresa tem mais de 100 anos na área, com mais de 3000 PCH's construídas no mundo, com instalações de turbinas Pelton, Francis e Kaplan e suas variáveis.

A empresa G & R Máquinas Hidráulicas produz turbinas atendendo quedas de 2 a 14 m, vazões de 14 a 250 l/s, gerando potencias de 0,8 a 4300 W, utilizando turbinas a reação (Francis), com caracol espiral.

A HISA atua no mercado a mais de 50 anos, produzindo turbinas hidráulicas tipo Francis, Pelton e Kaplan para PCHs.

A BEE Industria e Comércio de Equipamento fabrica turbinas Francis para a faixa de atuação das PCHs.

A *Voith Siemens Hydro Power Generation* fabrica turbinas Pelton, Francis, tubulares tipo “S” e turbinas tipo Bulbo para atender todos os tipos de PCHs.

Essa empresa citada tem plena capacidade de desenvolver máquinas para os mais diversos tipos de PCHs a serem construídos no país.

6. APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS NOS SISTEMAS DE SANEAMENTO

Nos sistemas de saneamento ambiental existem diversos potenciais energéticos que podem perfeitamente ser aproveitados e hoje são quase que totalmente desperdiçados.

O gás metano (CH_4), resultante da decomposição de matéria orgânica, está armazenado no lixo e nos esgotos que são displicentemente descartados em todo o país. Segundo o IBGE, 63% das nossas cidades abandonam o lixo a céu aberto em vazadouros e menos de 20% dos esgotos recebem algum tipo de tratamento.

Após dez anos de pesquisas, técnicos de Ministério do Meio Ambiente revelaram o potencial energético dos aterros de lixo de 91 cidades brasileiras. Até 2005, a previsão é que a energia ali armazenada seja de 344 MW, o suficiente para abastecer 6,5 milhões de pessoas.

Uma ETE convencional utilizando o processo de lodo é constituída por duas fases: líquido e sólido. Nas unidades de digestão, os lodos adensados primários e secundários são recalçados para os digestores anaeróbicos. No processo de digestão realizado pelas bactérias metanogênicas, ocorre à liberação do gás, com predominância de metano que é utilizado para a homogeneização do lodo, no tempo em que ele permanece digerindo. O excesso desse gás pode ser aproveitado para geração de energia elétrica, com a utilização micro turbinas e motores ciclo OTTO. A Sabesp aproveita hoje o biogás produzido na ETE – Barueri, com capacidade de 30 kW.

Nos sistemas de abastecimento de água existem potenciais quando se desloca água, principalmente na fase de adução de água bruta, ou quando se

transporta água de outras bacias (transposição de bacias) por intermédio de túneis, canais e represamentos em desníveis, normalmente, no país, esses potenciais são desperdiçados, como também a energia dos efluentes das ETEs, nos pontos de lançamentos, dos sistemas de esgotos, ou mesmo no ponto de chegada na estação de tratamento; também, quando existe a necessidade de transposição de bacias usando-se um emissário, esse efluente tem potencial para gerar energia. O complexo Billings exemplifica a utilização de esgotos num grande sistema de geração de energia elétrica (item 7.6).

Quanto aos potenciais energéticos dos sistemas de macro drenagem, fluviais, estes normalmente são utilizados, principalmente os médios e grandes. Os micro, mini e pequenos, antes desperdiçados, hoje estão começando a serem explorados, com os vários incentivos existentes pelas mudanças ocorridas no setor elétrico nos últimos anos.

7. ESTUDO DE CASO – POTENCIAIS HIDROENERGÉTICOS EM SISTEMAS REAIS

Entre dois e três por cento do consumo de energia do mundo é usado no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias. Os custos de energia representam valiosos recursos orçamentários para outras funções municipais também importantes como educação, transporte público e assistência médica.

No mundo desenvolvido, o custo de energia para o abastecimento de água pode facilmente representar até metade do orçamento do município; até mesmo em países desenvolvidos os sistemas de água e energia são tradicionalmente o segundo maior custo depois da folha dos servidores.

Em 2000, o mercado brasileiro, que correspondeu a 47 milhões de consumidores, consumiu 306 bilhões de kWh, sendo que a despesa das concessionárias do setor de saneamento com energia elétrica variam entre 5 a 20% de seus gastos; é o segundo maior gasto depois da folha de pagamento.

O setor de saneamento consumiu 7 bilhões de kWh/ano em 2003, sendo que apenas a Sabesp consumiu 1,8 bilhões de kWh/ano. Todas as empresas de saneamento do país gastaram R\$ 1,21 bilhão com energia elétrica em 2002; as empresas estaduais gastaram R\$ 950 milhões e a Sabesp R\$ 266 milhões. Desses gastos, 88% foram com sistemas de água, 11% com sistemas de esgotos e 1% na área administrativa.

A oportunidade que as companhias do setor de saneamento tem de produzir energia limpa, renovável e barata, de certo modo impedirá a construção de usinas

que utilizam combustíveis fósseis, cujas emissões contribuem para aumentar os já altos níveis de poluição no meio urbano, acelerando o processo de acidificação de lagos e florestas, intensificando o processo de mudança do clima global, pelas milhões de toneladas de dióxido de carbono emitidas para a atmosfera.

A mudança do clima global tem o potencial de reduzir os lençóis freáticos e prejudicar o abastecimento de água em várias áreas, proporcionando, no futuro, um aumento no valor da água, forçando investimentos para busca-la em lugares cada vez mais distantes dos centros de consumo.

Espera-se que a população urbana mundial dobre dentro dos próximos 40 anos. Se continuarmos no caminho de altos desperdícios que estamos, o consumo de energia pelas companhias de saneamento também irá duplicar.

Os preços da energia sobem continuamente; os recursos hídricos estão diminuindo ao mesmo tempo em que as populações urbanas estão crescendo. As companhias de saneamento, os consumidores, os políticos, o meio ambiente e todos nós pagaremos o alto preço pelo desperdício e má utilização dos recursos naturais; as companhias de saneamento têm, portanto, um poderoso incentivo para perseguir o potencial de efficientização de água e energia.

Existe uma ligação direta entre água e energia, dado o papel que a energia exerce no transporte de água para o consumidor final, assim como o seu papel na desinfecção da água e tratamento de esgoto.

Entendendo todas as relações existentes entre água e energia dentro das empresas de saneamento, essas companhias têm uma enorme oportunidade de tratar e gerenciar a água e a energia de modo integrado, buscando a eficiência no trato de dois recursos escassos e de alto valor.

Na pesquisa feita quanto aos possíveis potenciais hidroenergéticos em sistemas de saneamento, notadamente nos sistemas de abastecimento de água e sistemas de coleta de esgotos, foram encontrados projetos básico/preliminar desses

aproveitamentos, além de um grande sistema energético (Billings – Henry Borden) existente que se encontra ocioso.

No item abaixo foram elencados os sítios com potenciais hidroenergéticos. (SABESP – 2004, BETTA – 2004, SNIS – 2002, Wright – 2002, Braga – 1999 e Raven – 2004).

7.1 SISTEMA PRODUTOR CANTAREIRA - RMSP

O Sistema Cantareira é um complexo hídrico formado pelo represamento e Estação Elevatória de água bruta, Estação de Tratamento de Água, interligados por túneis e canais situados nos municípios de São Paulo, Bragança Paulista, Piracaia, Nazaré Paulista e Mairiporã no Estado de São Paulo (Figura 19).

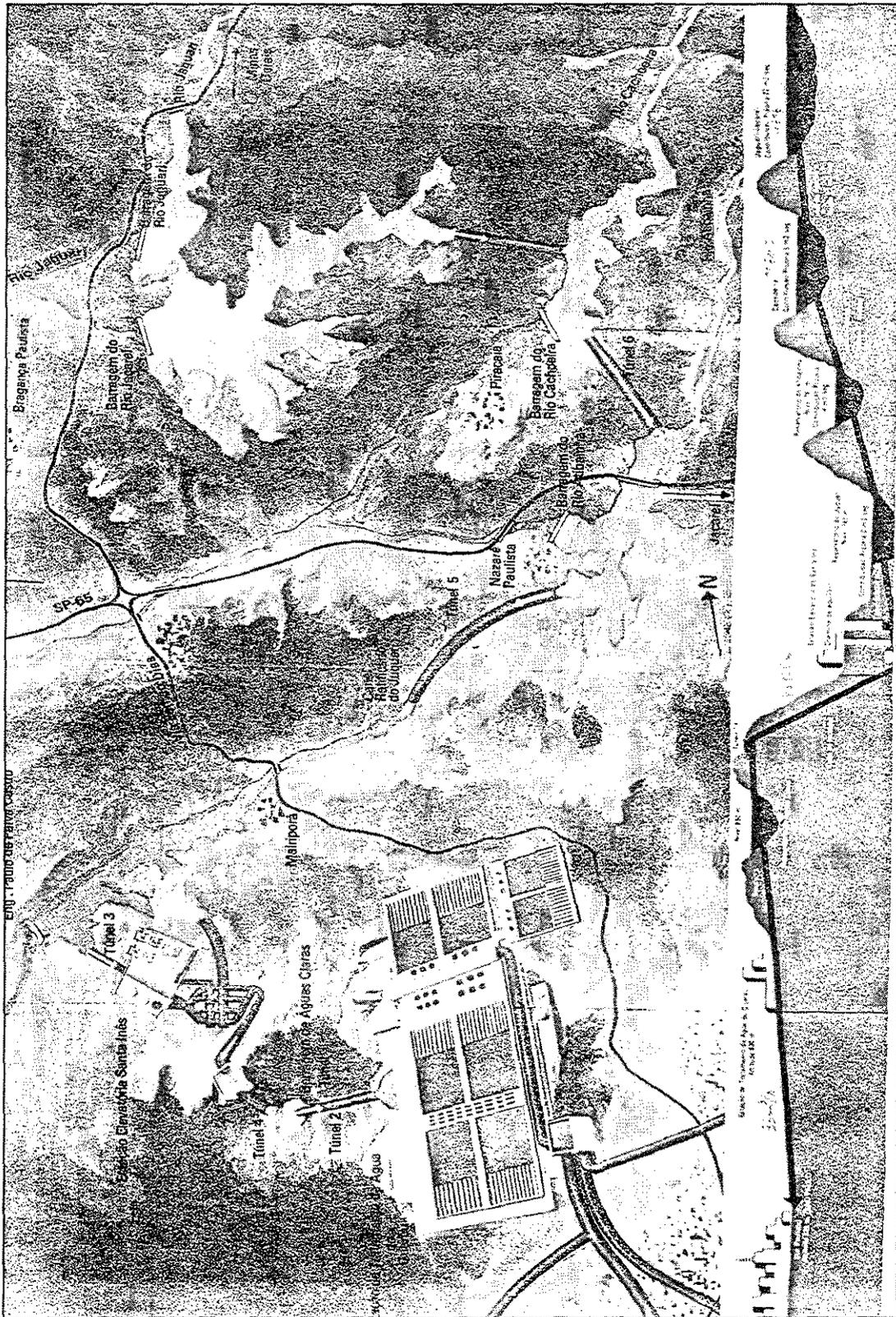


Figura 19 - Sistema Cantareira – Planta Geral – (Sabesp – 2004)

O objetivo principal do Sistema Cantareira é o abastecimento público de água potável para a Região Metropolitana de São Paul, não é um sistema com utilização múltipla, e sim única. As obras de captação das águas para esse sistema tiveram seu início pelo DAE em 1967, e foram concluídas pela SABESP em 1981.

Analisando esse sistema de várias represas em desníveis, interligadas por túneis, além de locais com dissipação de energia por intermédio de válvulas e estruturas de concreto, foram identificados diversos sítios com potencial de aproveitamento energético a saber:

- Bacia de Tranquilização da ETA Guaraú, ao lado da estrutura de válvulas dissipadoras existentes, onde seria instalada a PCH Guaraú, com capacidade de gerar uma potência de 4.186 kW a um custo de aproximadamente R\$ 19.200.000,00 (dezenove milhões e duzentos mil reais) – (2002);
- Estrutura de dissipação, inserida numa barragem existente, com a formação de um pequeno reservatório, logo após o desemboque do Túnel 5, denominada de Vertedouro da Cascata, conforme foto da Figura 20; essa estrutura de dissipação, ou Vertedouro em rampa, com dentes de dissipação é necessária para dissipar a energia de um desnível de 10,20m, formado entre o N. A. do reservatório de Atibainha e o canal que conduz água para o rio Juqueri. Na Figura 31 está destacada a localização da PCH Cascata.

Uma PCH instalada nestas estruturas terá capacidade de gerar uma potência de 2869 kW a um custo da ordem de R\$ 15.000.000,00 (quinze milhões de reais) – (2002).

Nestes dois casos citados, considerou-se a vazão máxima aduzida ($Q=33\text{m}^3/\text{s}$)

Além destes dois locais (Guaraú e Cascata), considerados os mais viáveis, pela capacidade de geração envolvida (7 MW), é possível identificar mais seis sítios de possível interesse, a saber:

- a jusante dos 4 barramentos principais
- os túneis de interligação Jacareí-Cachoeira (Túnel 7) e Cachoeira-Atibainha (Túnel 6).

As potências geradas a jusante dos barramentos principais seriam da ordem de 600 kW. Quanto ao aproveitamento da energia disponível nos túneis de interligação, a solução de engenharia se mostrou extremamente onerosa para viabilizar a motorização, impossibilitando o seu aproveitamento atual, apesar do alto potencial, da ordem de 15,0 MW máximo.

Portanto, entre potenciais com maior ou menor viabilidade, o sistema Cantareira poderia gerar uma potência de aproximadamente 23 MW.



Figura 20 – Barragem Cascata – Sistema Cantareira - (SABESP- 2004)

7.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE SANTO ANDRÉ – SP – MCH - PARANAPIACABA

Na cidade de Santo André, num local denominado Paranapiacaba, antiga vila ferroviária construída pelos ingleses no fim do século XIX, existe um sistema de abastecimento de água que capta as águas das encostas da serra, levando-as para um grupo de reservatórios para então serem distribuídas para a vila; a água é de tão boa qualidade sendo necessária apenas uma cloração.

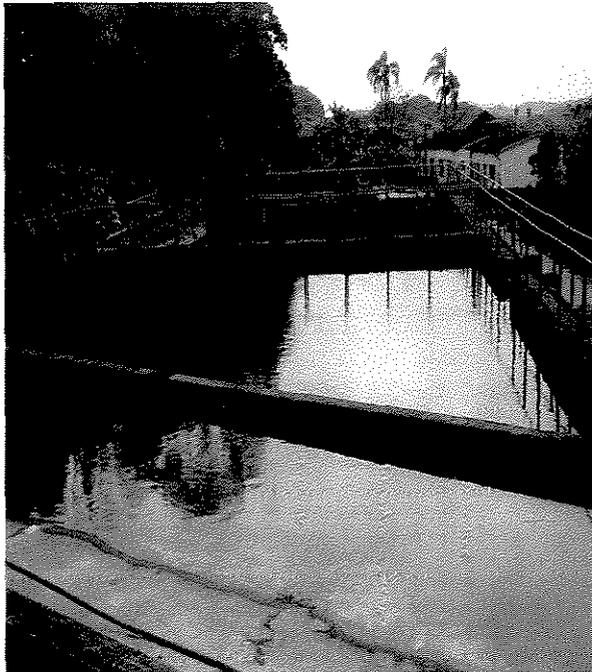
Esse sistema está obsoleto e será desativado, sendo que as estruturas de captação e reservação serão preservadas por serem históricas; sua localização é no interior de um parque (Parque das Águas), mostrado na Figura 21.



a)



b)



c)



d)

Figura 21 - Reservatório (a, b e c) - Captação no Parque das Águas (d)

Essas estruturas têm potencial para geração de energia por intermédio de uma MCH com potencial de aproximadamente:

$$P_1 = 8 \text{ kW}$$

- Os custos de implantação foram estimados em de R\$ 25.000,00 (vinte e cinco mil reais) – (2004)

Obs.: Na área existem mais 20 pequenas captações e reservatórios com capacidade de gerar energia elétrica por meio de uma microcentral hidrelétrica.

7.3 TRANSPOSIÇÃO BILLINGS - GUARAPIRANGA – RMSP – PCH TAQUACETUBA

Trata-se da implantação de uma PCH inserida em um sistema de adução implantado para abastecimento de água, como um reforço para o Sistema Guarapiranga em agosto de 2002, após grande crise de abastecimento na RMSP. Para os cálculos iniciais, adotou-se a vazão de $3,5\text{m}^3/\text{s}$.

O sistema Taquacetuba se inicia numa Estação Elevatória, localizada no braço Taquacetuba da Represa Billings, que recalca água para uma adutora de 1200 mm com aproximadamente 14 km, que possui em seu ponto mais alto um reservatório (stand-pipe), sendo que a partir daí, a água escoar por gravidade até a Represa Guarapiranga onde existe uma estrutura de descarga com duas válvulas dissipadoras, conforme é mostrado nas fotos das Figuras 22, 23 e 24.

Considerando o traçado da adutora, estima-se uma queda líquida de 43,00m.

A Casa de Força da Pequena Central Hidrelétrica será instalada à direita da estrutura de descarga, com capacidade de gerar uma potência estimada de 1347 kW.

Os custos previstos para a implantação da PCH Taquacetuba serão aproximadamente R\$ 7.500.000,00 (sete milhões e meio de reais) – (2002).

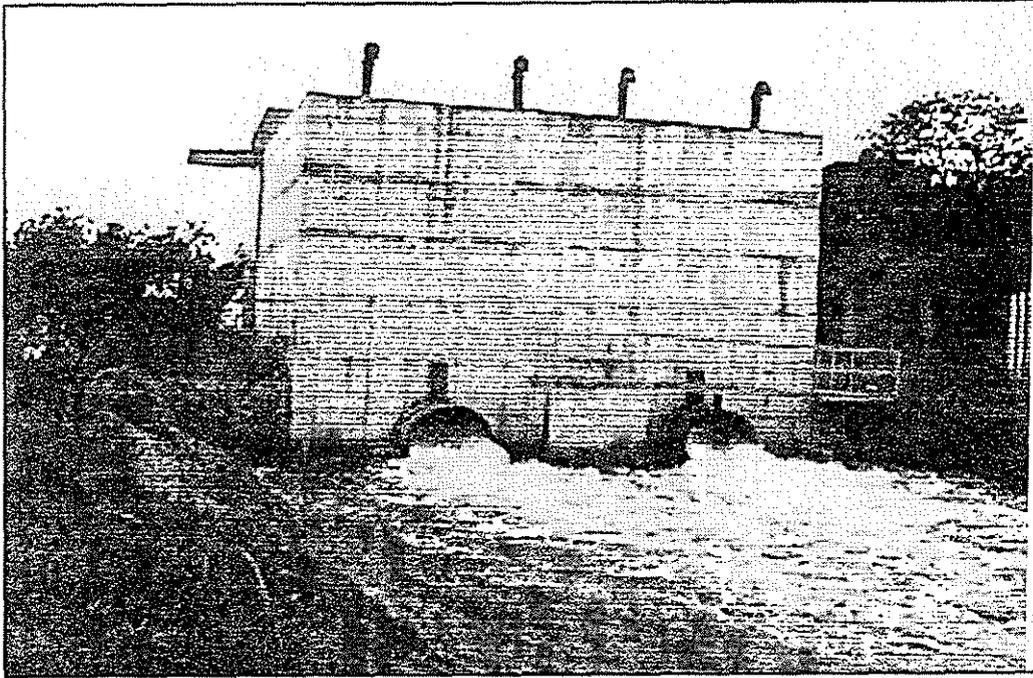


Figura 22 – Vista da Estrutura de Descarga - (SABESP – 2004)

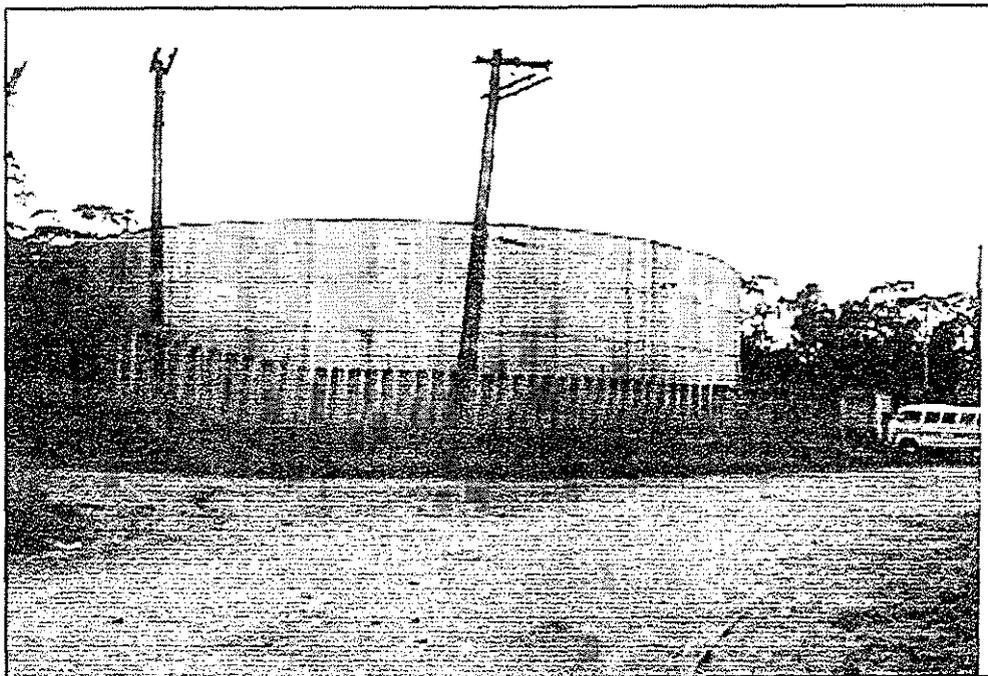


Figura 23 - Vista geral do Stand-pipe – (SABESP – 2004)

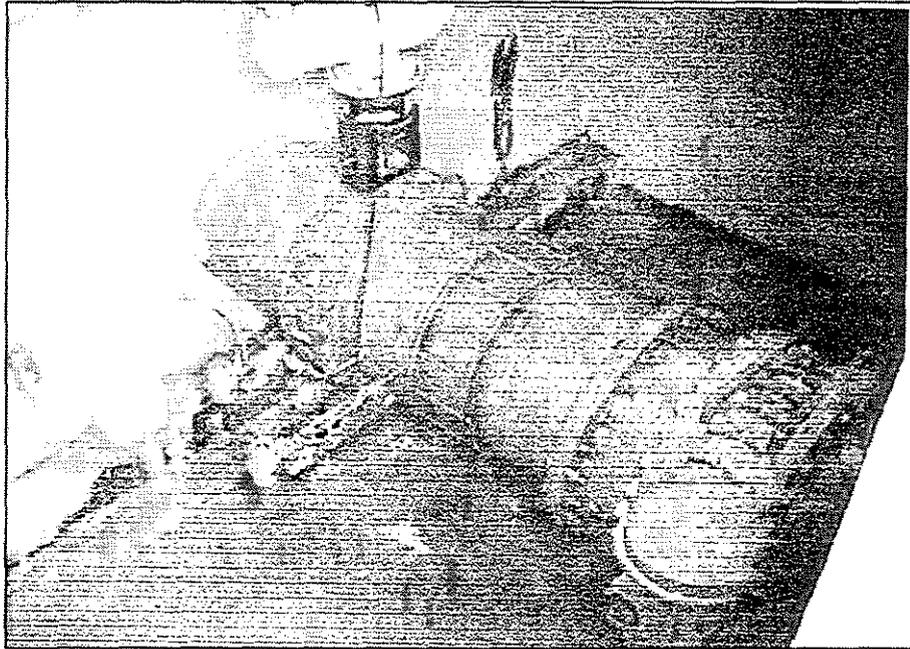


Figura 24 - Vista da Válvula Dissipadora de Energia – (SABESP – 2004)

7.4 SISTEMA DE ESGOTOS DE BOTUCATU - SP - MCH BOTUCATU

No sistema de tratamento de esgoto de Botucatu, em implantação, pelo fato do lançamento dos efluentes tratados se localizarem em um local privilegiado do ponto de vista energético, ficando a mais de 50m da cota do nível médio do rio, existe a possibilidade do aproveitamento deste potencial, conduzindo a vazão regularizada de quase $0,50\text{m}^3/\text{s}$ da ETE a uma Microcentral Hidrelétrica com capacidade de geração de 150 kW, a serem utilizadas da estação de tratamento.

7.5 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA PARA O CONJUNTO TURBO-BOMBA

A turbo-bomba é uma máquina que realiza o bombeamento aproveitando a força disponível da água. Como utiliza a água como força motriz, de poluição insignificante, não interfere no meio ambiente, além de devolver a água altamente oxigenada ao manancial de origem.

Esse tipo de máquina é muito utilizada no setor de agricultura para irrigação e também atende as mais variadas aplicações, sendo que no caso da indústria de saneamento, recalca efluentes de ETEs, ou água bruta, para reservatórios (cotas) superiores, entre outras utilizações. As Figura 25 e 26 apresentam um esquema básico da instalação desses conjuntos. (BETTA – 2004)

Dentre os diversos projetos de utilização dessa energia, serão citados alguns exemplos desses potenciais.:

a) ETE - Guaíba – SABESP

Bombeamento de efluentes de lagoa de estabilização

$$Q = 36 \text{ l/s}$$

$$H = 5,5 \text{ m}$$

$$P_i \cong 1,5 \text{ kW}$$

$$\text{Vazão bombeada} = 10,5 \text{ l/s}$$

b) ETE – Franca – SABESP

Bombeamento de efluentes tratados para um reservatório de água de utilidades

$$Q = 300 \text{ l/s}$$

$$H = 40 \text{ m}$$

$$P_i \cong 13,42 \text{ kW}$$

$$\text{Vazão bombeada} = 12,78 \text{ l/s}$$

c) ETE - Orindiúva - SABESP

Bombeamento de efluentes para lagoa de esgoto

$$Q = 9 \text{ l/s}$$

$$H = 2,5 \text{ m}$$

$$P_i \cong 0,22 \text{ kW}$$

$$\text{Vazão bombeada} = 2,36 \text{ l/s}$$

d) ETE - Campo Belo – DEMA E

Bombeamento de água bruta e Micro Central Hidrelétrica

$Q = 3,11 \text{ l/s}$

$H = 156 \text{ m}$

$P_i \cong 12,23 \text{ kW}$

$Q = 87 \text{ l/s}$

$H = 25 \text{ m}$

$P_i \cong 12 \text{ kW}$

Vazão bombeada = 19 l/s

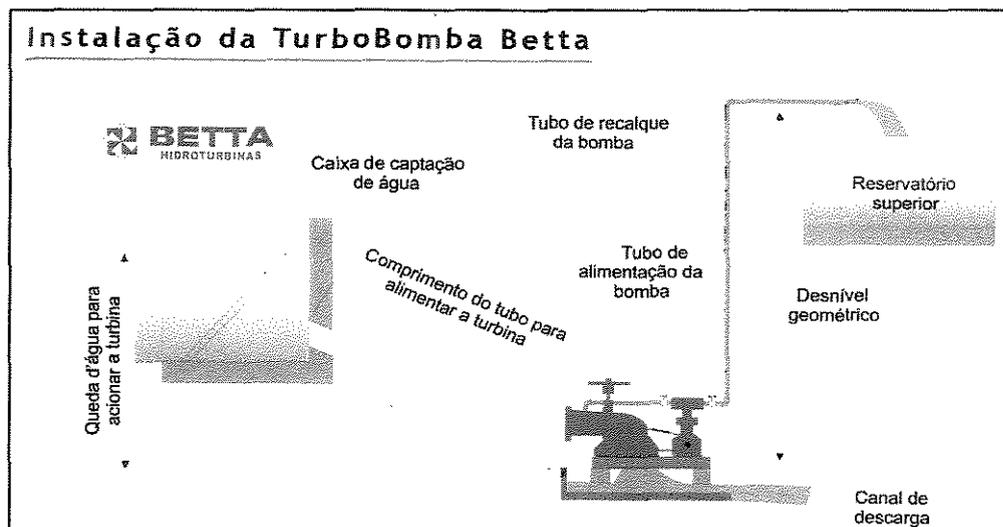


Figura 25 - Esquema de Instalação do conjunto turbina bomba - (BETTA – 2004)

Esses pequenos potenciais listados também podem ser aproveitados utilizando-se microcentrais hidrelétricas (MCH) para a geração de energia elétrica.

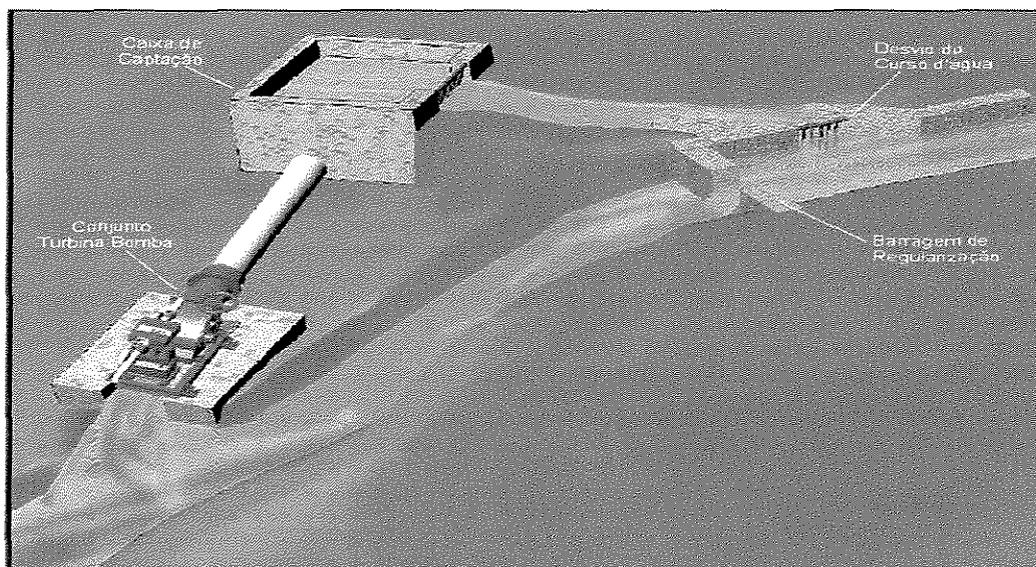


Figura 26 - Aproveitamento com queda natural – (BETTA – 2004)

7.6 O SISTEMA GERADOR HENRY BORDEN

O represamento do Rio Grande, um dos afluentes do Tietê, nas proximidades de Pedreira, em Santo Amaro e seu desvio para o Córrego das Pedras, que segue serra abaixo, desaguando no Rio Cubatão, mobilizou em exército de mais de 6 mil trabalhadores, para que em 1926, entrasse em funcionamento a primeira unidade geradora da usina, que foi um dos maiores empreendimentos energéticos de sua época.

Recebeu o nome de Henry Borden em homenagem ao engenheiro canadense que dirigiu a Light no Brasil. Essa usina forneceu a maior parte da energia necessária a industrialização e urbanização de São Paulo e pólo industrial de Cubatão entre as décadas de 20 e 60.

7.6.1 O COMPLEXO HÍDRICO BILLINGS

Localizado na região do planalto, abrange áreas dos municípios de São Paulo, Santo André, São Bernardo do Campo, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. Uma visão geral dessa área é mostrada na Figura 27

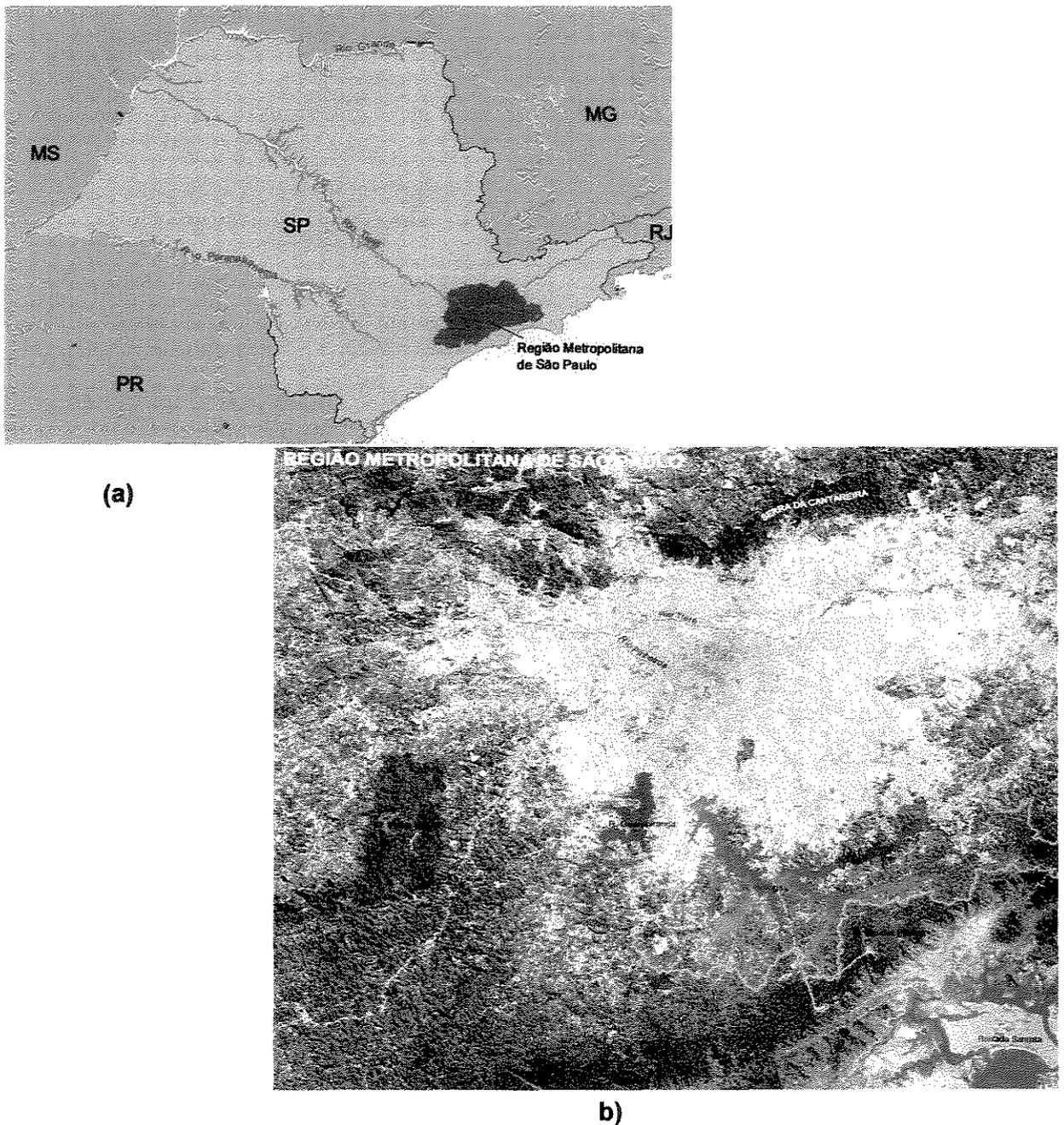


Figura 27 – Localização da RMSP – (a e b) – (DAEE – 2000)

É o reservatório de maior volume de acumulação da EMAE, com cerca de 1,3 bilhão de m³ de água.

Foi projetado e construído pelo engenheiro Asa White Kenny Billings em 1937, com o objetivo de receber às águas dos rios Tietê e Pinheiros através do bombeamento pelas Estações Elevatórias de Traição e Pedreira, além das águas de sua própria bacia para geração de energia elétrica na Usina de Henry Borden, em Cubatão.

Em 1981, o reservatório foi seccionado por meio da construção da Barragem Anchieta, no riacho Grande, junto à via Anchieta, resultando em dois compartimentos: o de Pedreira e o do Rio Grande.

O objetivo desse seccionamento foi preservar a qualidade das águas do compartimento do Rio Grande, do qual a Sabesp capta água para abastecimento da região do ABCD.

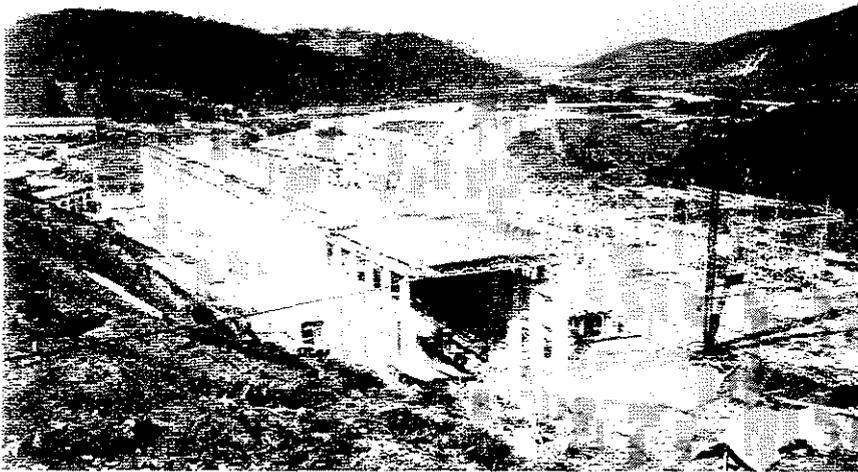
Numa concepção de utilização múltipla, as águas desse reservatório são utilizadas para geração de energia elétrica, abastecimento público através da reversão do Braço Taquacetuba (Figuras 22, 23 e 24), saneamento, controle de cheias e lazer.

7.6.2 O RESERVATÓRIO RIO DAS PEDRAS

Localiza-se no Rio das Pedras, no Alto da Serra do Mar abrangendo área do município de São Bernardo do Campo.

Foi construído no ano de 1926, com o objetivo de receber as águas provenientes do Reservatório Billings, através da Barragem Reguladora Billings-Pedras, para posterior geração de energia elétrica na Usina Henry Borden, em Cubatão. É nele que se encontram as três tomadas d'água dessa usina.

bombeamento das águas do Rio Pinheiro para o Reservatório Billings para controle de cheias, reduzindo em 75%, aproximadamente, a capacidade de produção de energia da usina.



(a)



(b)

Figura 29 - Usina Henry Borden – 1941 – (a e b) – (DAEE – 2000)

7.6.4 A Maior Lagoa de Estabilização do Mundo

O complexo hidroelétrico Billings recebe esgotos de quase toda a RMSP, apesar das restrições impostas no bombeamento das Estações Elevatórias de Traição e Pedreiras, já que existe um índice bastante baixo de coleta e afastamento

de esgotos nos municípios da bacia fornecedora da Represa Billings. Assim, a energia gerada pela Usina Henry Borden baseia-se em um Sistema de Saneamento Ambiental onde as água-esgotos antes de serem encaminhadas para as “Penstocks” da usina, são tratadas na Represa Billings, que exerce a função de uma gigantesca Lagoa de Estabilização. (Figuras 27 e 28).

As restrições no funcionamento das Usinas de Traição e Pedreira deveu-se a uma grande movimentação de ambientalistas cuja finalidade principal era a proteção da Represa Billings; deixou-se de gerar energia (quase 600 MW) com esgotos em tempos de grande escassez desse insumo, ao lado do principal centro consumidor do país, que é a RMSP e envia-se os esgotos dessa região para poluírem os municípios a jusante de São Paulo.

Daqui a algumas décadas, quando grande parte dos esgotos gerados pelos municípios da RMSP forem coletados e tratados, o complexo Henry Borden poderá voltar a gerar energia a plena capacidade. (EMAE – 2005)

Existem 5.507 municípios no país dos quais 3.069 têm sistemas de abastecimento de água utilizando mananciais com captação superficial, sendo que a maioria desses municípios (90%) tem população menor que 50.000 habitantes. (IBGE – 2000); esses sistemas fornecerão as possibilidades para a exploração dos micros/minis potenciais energéticos. Os pequenos potenciais exploráveis utilizando PCHs na faixa de 1 a 30 MW são pontuais.

Dentre todos os projetos citados, iremos estudar dois casos, levando em conta a capacidade de geração de eletricidade por meio de uma PCH e MCH:

Caso 1 – PCH Guaraú e Caso 2 – MCH Botucatu

8. ESTUDO DE CASO 1 – PCH GUARÁÚ

8.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) visando o aproveitamento de energia disponível dentro das instalações da SABESP no Sistema Cantareira, a qual é atualmente dispersada por meio de três válvulas.

8.2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A casa de força da PCH deve ser instalada na margem direita da estrutura dos canais de dissipação existentes, na Bacia de Tranquilização da ETA Guaraú, na zona norte da Região Metropolitana de São Paulo.

8.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

O arranjo das obras é bastante simples, contemplando apenas a implantação das estruturas da Casa de Força e da Chaminé de Equilíbrio, uma vez que já existem as estruturas da Tomada d'água e do Túnel de Adução interligando a represa de Águas Claras com a Bacia de Tranquilização localizada na ETA Guaraú.

Por se tratar de implantação PCH no trecho final de um sistema de adução implantado para abastecimento de água, projetado para aduzir a vazão de $33\text{m}^3/\text{s}$ e que já opera em sua plena capacidade há um pouco mais de 10 anos, não há necessidade de levantamentos hidrometeorológicos.

Como as vazões médias aduzidas são bastante próximas de $33\text{m}^3/\text{s}$, (a vazão, com permanência de 95% do tempo, nos últimos 5 anos, foi de $31,55\text{m}^3/\text{s}$), a potência instalada da PCH pode ser definida considerando a vazão turbinada de $33\text{m}^3/\text{s}$, vazão praticamente regularizada pelo Sistema Cantareira.

O Túnel 2, que liga a Represa de Águas Claras a ETA Guaraú tem 4878m de comprimento escavado em rocha, sendo revestido de concreto nos trechos inicial e final, que tem seção circular de 3,80m de diâmetro.

O desnível total entre a Represa Águas Claras e o nível de jusante da futura usina é de 22m. Estima-se uma perda de carga no circuito hidráulico da turbina de 7,2m, resultando numa queda líquida de 14,8m.

Os valores de queda e vazão, respectivamente de 14,8m e $33\text{m}^3/\text{s}$, conduziram a solução com turbinas de tipo Kaplan, sendo escolhida a Tubular "S" montante, que forneceu o melhor arranjo e menores valores de custos de implantação.

Essas turbinas tipo "S" montante têm eixo horizontal e são empregadas em usinas de baixa queda. O gerador e o multiplicador são instalados a montante, fora das passagens hidráulicas da turbina. A Casa de Força terá apenas uma unidade geradora, levando em consideração o menor custo. Como vantagens da Turbina Tubular "S" montante temos:

- Alta rotação no gerador, que é padronizado e, portanto de dimensões e custos menores;
- Posição horizontal do Tubo de Sucção na mesma elevação da unidade geradora e conseqüente redução das escavações;
- Possibilidade de desmontagem do gerador sem esvaziamento da unidade.

Na Figura 32 é mostrada a planta baixa da saída do Túnel 2, onde se observam as três válvulas dissipadoras e a PCH, com sua motorização utilizando Turbina "S" montante.

8.4 POTÊNCIA INSTALADA

A potência instalada é a potência possível de ser transformada em potência mecânica. É, portanto, a potência disponível diminuída das perdas.

$$P_i = \rho \times g \times Q \times H_L \times \eta_T \quad (8.1)$$

Onde

P_i = potência instalada (W)

ρ = massa específica da água (10^3 kg/m^3)

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Q = vazão (m^3/s)

H_L = altura da queda líquida (m)

η_T = rendimento total da instalação (%)

Onde

$$\eta_T = \eta_g \times \eta_t \quad (8.2)$$

η_g = rendimento do gerador (%)

η_t = rendimento da turbina (%)

Temos então:

$Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_L = 14,8 \text{ m}$

$$\eta_t = 92\%$$

$$\eta_g = 95\%$$

$$\eta_T = 86\%$$

$$P_i = 1000 \times 9,81 \times 33 \times 14,8 \times 0,92 \times 0,95$$

$$P_i = 4.186.000 \text{ W}$$

$$P_i = 4186 \text{ kW}$$

Para o cálculo da energia média produzida anual, adotaremos uma taxa de indisponibilidade de 10% da Pequena Central, para eventuais paradas de manutenção.

$$E = P_i \times t \times 0,9 \quad (8.3)$$

Onde

E = energia produzida (MWh)

P = potência instalada (kW)

t = tempo (ano)

Temos:

$$E = 4186 \times \frac{24\text{h}}{\text{dia}} \times \frac{365 \text{ dia}}{\text{ano}} \times 0,9$$

$$E = 33.002.424,00 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}$$

$$E = 33.002 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}}$$

Obs.: esses estudos de potência e energia são preliminares apenas para a verificação da viabilidade e posterior aprofundamento dos estudos

8.5 VIABILIDADE PRELIMINAR DO EMPREENDIMENTO

Com a capacidade instalada de 4186kW, a PCH Guaraú prevê investimentos de cerca de R\$ 19.200.000,00 – (SABESP – 2002).

Cálculo da Viabilidade:

Valor do Empreendimento	R\$ 19.200.000,00
Energia poupada mês	$4,186 \text{ MW} \times \frac{24\text{h}}{\text{dia}} \times \frac{30\text{d}}{\text{mês}} = 3014 \frac{\text{MWh}}{\text{mês}} \times 0,9 = 2.712,53 \frac{\text{MWh}}{\text{mês}}$
Valor utilizado – R\$/MWh SABESP	R\$ 130,00/ MWh (2002)
Valor poupado mensalmente	$2712,23 \frac{\text{MWh}}{\text{mês}} \times \frac{\text{R\$ } 130,00}{\text{MWh}} = 352.628,90 \frac{\text{R\$}}{\text{mês}}$
Tempo previsto para o retorno do capital principal	$\frac{19.200.000,00 \text{ R\$}}{352.628,90 \text{ R\$}} \times \text{mês} = 55 \text{ meses}$
Tempo de vida útil da PCH 30 anos	Projeto viável

Aprofundando este estudo de viabilidade, considerando um ambiente inflacionário de 12% ao ano ou 1% ao mês e gastos de operação e manutenção da PCH de R\$ 30.000,00 (trinta mil reais) ao mês, pode-se simular a amortização do empreendimento com os preços da energia produzida (deixada de ser comprada da concessionária).

Na Tabela 7 simulou-se mês a mês a amortização do empreendimento. No mês 60 a PCH está paga e começa a gerar lucros.

A Figura 30 mostra graficamente o desenvolvimento da amortização do empreendimento, comprovando sua viabilidade.

Tabela 7 - Amortização do Empreendimento pela Geração de Energia

Obra: PCH-Guará

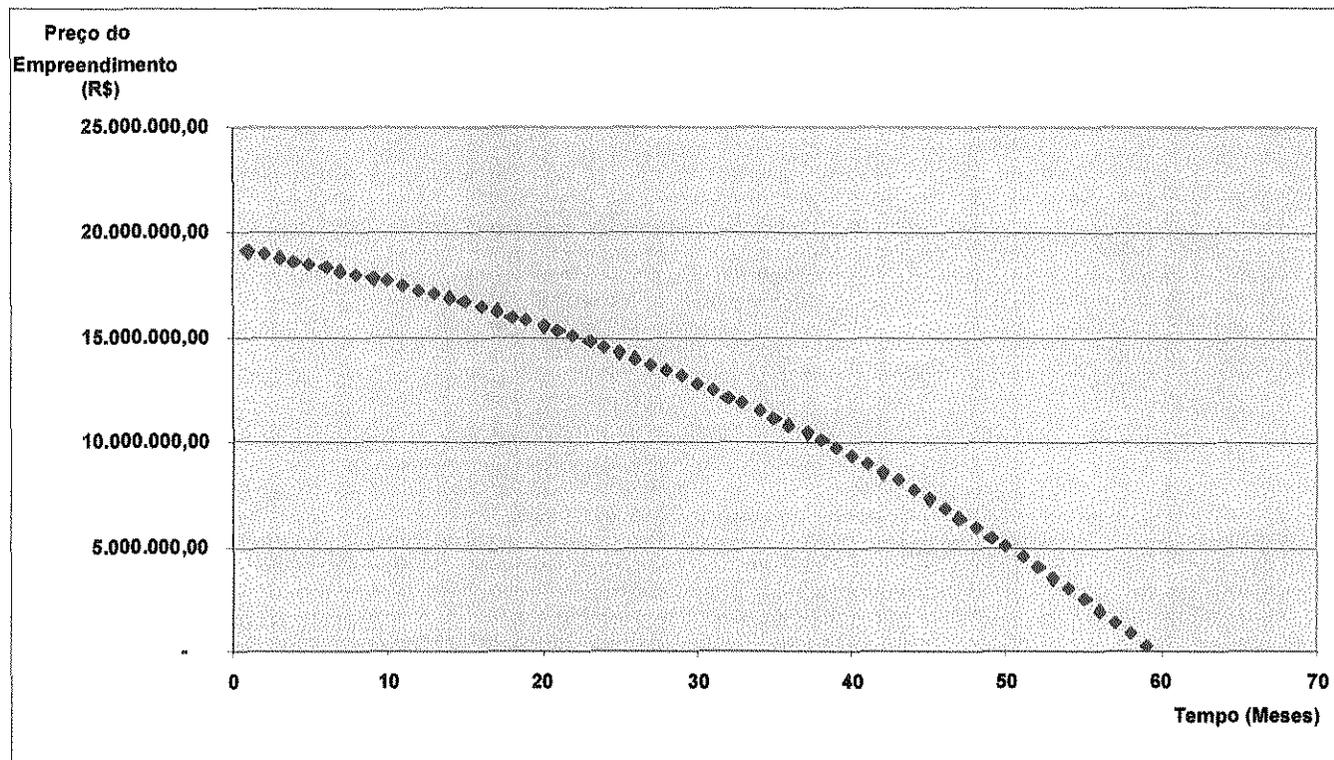
Ano	Mês	Preço da Obra (R\$)	Preço Obra + Inflação (R\$)	Preço da Operação + Manutenção (R\$)	Preços de Operação + Manutenção + Inflação (R\$)	Preço da Obra + Operação + Manutenção + Inflação Amortizado (R\$)	Preço da Energia (R\$/MWh)	Preço da Energia + Inflação (R\$/MWh)	Energia Produzida (Poupada) (KWh)	Preço da Energia Produzida (R\$)	Preço da Obra a ser Amortizado (R\$)	Mês
1	1	19.200.000,00	19.392.000,00	30.000,00	30.300,00	19.422.300,00	130,00	131,30	2.712.530,00	356.155,19	19.066.144,81	1
1	2	19.066.144,81	19.256.806,26	30.300,00	30.603,00	19.287.409,26	131,30	132,61	2.712.530,00	359.716,74	18.927.692,52	2
1	3	18.927.692,52	19.116.969,44	30.603,00	30.909,03	19.147.878,47	132,61	133,94	2.712.530,00	363.313,91	18.784.564,57	3
1	4	18.784.564,57	18.972.410,21	30.909,03	31.218,12	19.003.628,33	133,94	135,28	2.712.530,00	366.947,05	18.636.681,28	4
1	5	18.636.681,28	18.823.048,10	31.218,12	31.530,30	18.854.578,40	135,28	136,63	2.712.530,00	370.616,52	18.483.961,88	5
1	6	18.483.961,88	18.668.801,50	31.530,30	31.845,60	18.700.647,10	136,63	138,00	2.712.530,00	374.322,68	18.326.324,42	6
1	7	18.326.324,42	18.509.587,66	31.845,60	32.164,06	18.541.751,73	138,00	139,38	2.712.530,00	378.065,91	18.163.685,82	7
1	8	18.163.685,82	18.345.322,67	32.164,06	32.485,70	18.377.808,37	139,38	140,77	2.712.530,00	381.846,57	17.995.961,81	8
1	9	17.995.961,81	18.175.921,42	32.485,70	32.810,56	18.208.731,98	140,77	142,18	2.712.530,00	385.665,03	17.823.066,95	9
1	10	17.823.066,95	18.001.297,62	32.810,56	33.138,66	18.034.436,28	142,18	143,60	2.712.530,00	389.521,68	17.644.914,60	10
1	11	17.644.914,60	17.821.363,74	33.138,66	33.470,05	17.854.833,79	143,60	145,04	2.712.530,00	393.416,90	17.461.416,89	11
1	12	17.461.416,89	17.636.031,06	33.470,05	33.804,75	17.669.835,81	145,04	146,49	2.712.530,00	397.351,07	17.272.484,74	12
2	13	17.272.484,74	17.445.209,59	33.804,75	34.142,80	17.479.352,38	146,49	147,95	2.712.530,00	401.324,58	17.078.027,80	13
2	14	17.078.027,80	17.248.808,08	34.142,80	34.484,23	17.283.292,31	147,95	149,43	2.712.530,00	405.337,83	16.877.954,48	14
2	15	16.877.954,48	17.046.734,03	34.484,23	34.829,07	17.081.563,09	149,43	150,93	2.712.530,00	409.391,21	16.672.171,89	15
2	16	16.672.171,89	16.838.893,61	34.829,07	35.177,36	16.874.070,97	150,93	152,44	2.712.530,00	413.485,12	16.460.585,85	16
2	17	16.460.585,85	16.625.191,71	35.177,36	35.529,13	16.660.720,84	152,44	153,96	2.712.530,00	417.619,97	16.243.100,87	17
2	18	16.243.100,87	16.405.531,88	35.529,13	35.884,42	16.441.416,30	153,96	155,50	2.712.530,00	421.796,17	16.019.620,14	18
2	19	16.019.620,14	16.179.816,34	35.884,42	36.243,27	16.216.059,61	155,50	157,05	2.712.530,00	426.014,13	15.790.045,48	19
2	20	15.790.045,48	15.947.945,93	36.243,27	36.605,70	15.984.551,63	157,05	158,62	2.712.530,00	430.274,27	15.554.277,36	20
2	21	15.554.277,36	15.709.820,13	36.605,70	36.971,76	15.746.791,89	158,62	160,21	2.712.530,00	434.577,01	15.312.214,88	21
2	22	15.312.214,88	15.465.337,03	36.971,76	37.341,48	15.502.678,50	160,21	161,81	2.712.530,00	438.922,78	15.063.755,72	22
2	23	15.063.755,72	15.214.393,27	37.341,48	37.714,89	15.252.108,16	161,81	163,43	2.712.530,00	443.312,01	14.808.796,15	23
2	24	14.808.796,15	14.956.884,11	37.714,89	38.092,04	14.994.976,15	163,43	165,07	2.712.530,00	447.745,13	14.547.231,02	24
3	25	14.547.231,02	14.692.703,33	38.092,04	38.472,96	14.731.176,29	165,07	166,72	2.712.530,00	452.222,58	14.278.953,71	25
3	26	14.278.953,71	14.421.743,24	38.472,96	38.857,69	14.460.600,93	166,72	168,38	2.712.530,00	456.744,81	14.003.856,12	26
3	27	14.003.856,12	14.143.894,69	38.857,69	39.246,27	14.183.140,95	168,38	170,07	2.712.530,00	461.312,26	13.721.828,69	27
3	28	13.721.828,69	13.859.046,98	39.246,27	39.638,73	13.898.685,71	170,07	171,77	2.712.530,00	465.925,38	13.432.760,33	28
3	29	13.432.760,33	13.567.087,93	39.638,73	40.035,12	13.607.123,05	171,77	173,49	2.712.530,00	470.584,63	13.136.538,42	29
3	30	13.136.538,42	13.267.903,80	40.035,12	40.435,47	13.308.339,27	173,49	175,22	2.712.530,00	475.290,48	12.833.048,79	30

Tabela 7 - Amortização do Empreendimento pela Geração de Energia

Obra: PCH-Guaráú

continuação

Ano	Mês	Preço da Obra (R\$)	Preço Obra + Inflação (R\$)	Preço da Operação + Manutenção (R\$)	Preços de Operação + Manutenção + Inflação (R\$)	Preço da Obra + Operação + Manutenção + Inflação Amortizado (R\$)	Preço da Energia (R\$/MWh)	Preço da Energia + Inflação (R\$/MWh)	Energia Produzida (Poupada) (KWh)	Preço da Energia Produzida (R\$)	Preço da Obra a ser Amortizado (R\$)	Mês
3	31	12.833.048,79	12.961.379,27	40.435,47	40.839,82	13.002.219,10	175,22	176,97	2.712.530,00	480.043,39	12.522.175,71	31
3	32	12.522.175,71	12.647.397,47	40.839,82	41.248,22	12.688.645,69	176,97	178,74	2.712.530,00	484.843,82	12.203.801,87	32
3	33	12.203.801,87	12.325.839,89	41.248,22	41.660,70	12.367.500,59	178,74	180,53	2.712.530,00	489.692,26	11.877.808,33	33
3	34	11.877.808,33	11.996.586,42	41.660,70	42.077,31	12.038.663,73	180,53	182,34	2.712.530,00	494.589,18	11.544.074,55	34
3	35	11.544.074,55	11.659.515,29	42.077,31	42.498,08	11.702.013,38	182,34	184,16	2.712.530,00	499.535,07	11.202.478,30	35
3	36	11.202.478,30	11.314.503,09	42.498,08	42.923,06	11.357.426,15	184,16	186,00	2.712.530,00	504.530,42	10.852.895,73	36
4	37	10.852.895,73	10.961.424,69	42.923,06	43.352,29	11.004.776,98	186,00	187,86	2.712.530,00	509.575,73	10.495.201,25	37
4	38	10.495.201,25	10.600.153,27	43.352,29	43.785,82	10.643.939,08	187,86	189,74	2.712.530,00	514.671,48	10.129.267,60	38
4	39	10.129.267,60	10.230.560,27	43.785,82	44.223,68	10.274.783,95	189,74	191,64	2.712.530,00	519.818,20	9.754.965,75	39
4	40	9.754.965,75	9.852.515,41	44.223,68	44.665,91	9.897.181,32	191,64	193,55	2.712.530,00	525.016,38	9.372.164,94	40
4	41	9.372.164,94	9.465.886,59	44.665,91	45.112,57	9.510.999,16	193,55	195,49	2.712.530,00	530.266,54	8.980.732,62	41
4	42	8.980.732,62	9.070.539,94	45.112,57	45.563,70	9.116.103,64	195,49	197,44	2.712.530,00	535.569,21	8.580.534,43	42
4	43	8.580.534,43	8.666.339,77	45.563,70	46.019,33	8.712.359,11	197,44	199,42	2.712.530,00	540.924,90	8.171.434,21	43
4	44	8.171.434,21	8.253.148,55	46.019,33	46.479,53	8.299.628,07	199,42	201,41	2.712.530,00	546.334,15	7.753.293,92	44
4	45	7.753.293,92	7.830.826,86	46.479,53	46.944,32	7.877.771,19	201,41	203,43	2.712.530,00	551.797,49	7.325.973,69	45
4	46	7.325.973,69	7.399.233,43	46.944,32	47.413,77	7.446.647,20	203,43	205,46	2.712.530,00	557.315,47	6.889.331,73	46
4	47	6.889.331,73	6.958.225,05	47.413,77	47.887,90	7.006.112,95	205,46	207,51	2.712.530,00	562.888,62	6.443.224,33	47
4	48	6.443.224,33	6.507.656,57	47.887,90	48.366,78	6.556.023,35	207,51	209,59	2.712.530,00	568.517,51	5.987.505,84	48
5	49	5.987.505,84	6.047.380,90	48.366,78	48.850,45	6.096.231,35	209,59	211,69	2.712.530,00	574.202,66	5.522.028,67	49
5	50	5.522.028,67	5.577.248,96	48.850,45	49.338,95	5.626.587,91	211,69	213,80	2.712.530,00	579.944,71	5.046.643,20	50
5	51	5.046.643,20	5.097.109,63	49.338,95	49.832,34	5.146.941,98	213,80	215,94	2.712.530,00	585.744,16	4.561.197,82	51
5	52	4.561.197,82	4.606.809,80	49.832,34	50.330,67	4.657.140,46	215,94	218,10	2.712.530,00	591.601,60	4.065.538,87	52
5	53	4.065.538,87	4.106.194,25	50.330,67	50.833,97	4.157.028,23	218,10	220,28	2.712.530,00	597.517,61	3.559.510,61	53
5	54	3.559.510,61	3.595.105,72	50.833,97	51.342,31	3.646.448,03	220,28	222,48	2.712.530,00	603.492,79	3.042.955,24	54
5	55	3.042.955,24	3.073.384,80	51.342,31	51.855,74	3.125.240,53	222,48	224,71	2.712.530,00	609.527,72	2.515.712,81	55
5	56	2.515.712,81	2.540.869,94	51.855,74	52.374,29	2.593.244,24	224,71	226,96	2.712.530,00	615.623,00	1.977.621,24	56
5	57	1.977.621,24	1.997.397,45	52.374,29	52.898,04	2.050.295,49	226,96	229,22	2.712.530,00	621.779,23	1.428.516,26	57
5	58	1.428.516,26	1.442.801,43	52.898,04	53.427,02	1.496.228,44	229,22	231,52	2.712.530,00	627.997,02	868.231,43	58
5	59	868.231,43	876.913,74	53.427,02	53.961,29	930.875,03	231,52	233,83	2.712.530,00	634.276,99	296.598,04	59
5	60	296.598,04	299.379,81	53.961,29	54.500,90	353.880,71	233,83	236,17	2.712.530,00	640.618,21	(286.737,50)	60



**FIGURA 30 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO
PCH - GUARAJÚ**

8.6 ASPECTOS AMBIENTAIS

Salienta-se que o empreendimento não comprometerá o abastecimento público de água potável, da Região Metropolitana de São Paulo. A área para implantação da PCH tem alto grau de antropização com os equipamentos da ETA Guaraú, que lá funciona à 28 anos, com características ambientais e paisagísticas definidas. A Implantação da PCH irá otimizar o uso das instalações existentes, sem interferência a ambientes naturais ou ao regime hídrico local, portanto, não haverá impacto ou comprometimento de ambientes naturais locais ou regionais, imediatos ou a médio/longo prazo à região.

8.7 PONTOS DE DESTAQUE DO PROJETO PCH – GUARAÚ

- Perturbação nula no sistema de adução, quer na qualidade e quantidade da água, na construção e operação do empreendimento;
- Possibilidade de realização a curto prazo;
- Obras civis extremamente reduzidas, já que a represa (Águas Claras), adução do canal e obras de apoio são existentes;
- A implantação não interfere com a operação normal do sistema adutor;
- Alagamento adicional nulo, eliminando as dificuldades de desapropriações, com forte impacto social e ambiental;
- A energia elétrica gerada deverá ser totalmente consumida pela própria SABESP, nas instalações da ETA Guaraú e na Estação Elevatória Santa Inês;
- Utilização adequada dos recursos naturais evitando-se desperdício destes, buscando seu aproveitamento múltiplo, maximizando os benefícios do uso do recurso natural (água) utilizado;
- Utilização de uma energia que deve ser dissipada para não causar danos no sistema;
- Aproveitamento de vazões com altíssimo nível de regularização para geração de energia limpa;
- Melhor utilização de recursos escassos como a água e energia;

- Por estar junto ao consumidor, a energia gerada praticamente não esta sujeita às perdas por transmissão, que chegam a 16% em média no setor;
- Geração de empregos diretos (na implantação) indiretos (na produção dos equipamentos), além dos empregos gerados na fase de operação.

Na Figura 31 apresentamos o perfil hidráulico do Sistema Cantareira, onde podemos ver a localização da PCH-Guaraú, no final do sistema de adução, a montante da ETA.

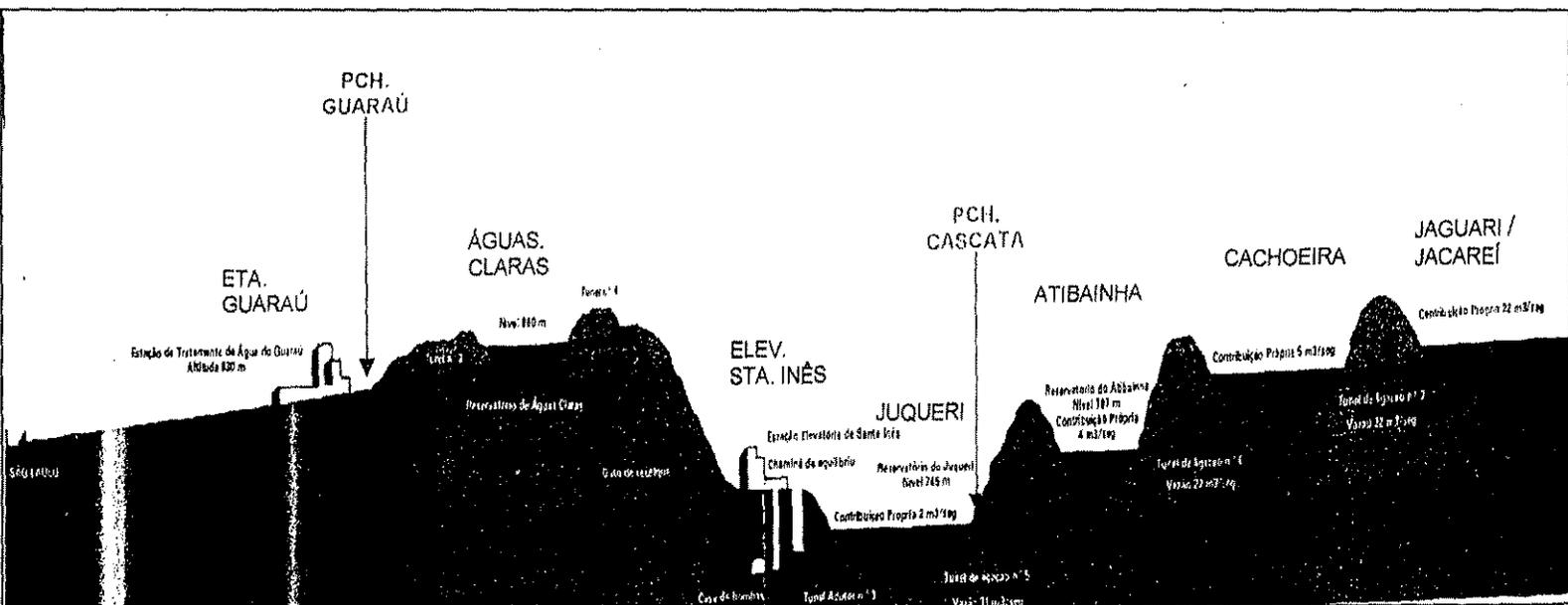


Figura 31 Sistema Cantareira – Perfil Hidráulico - (SABESP – 2004)

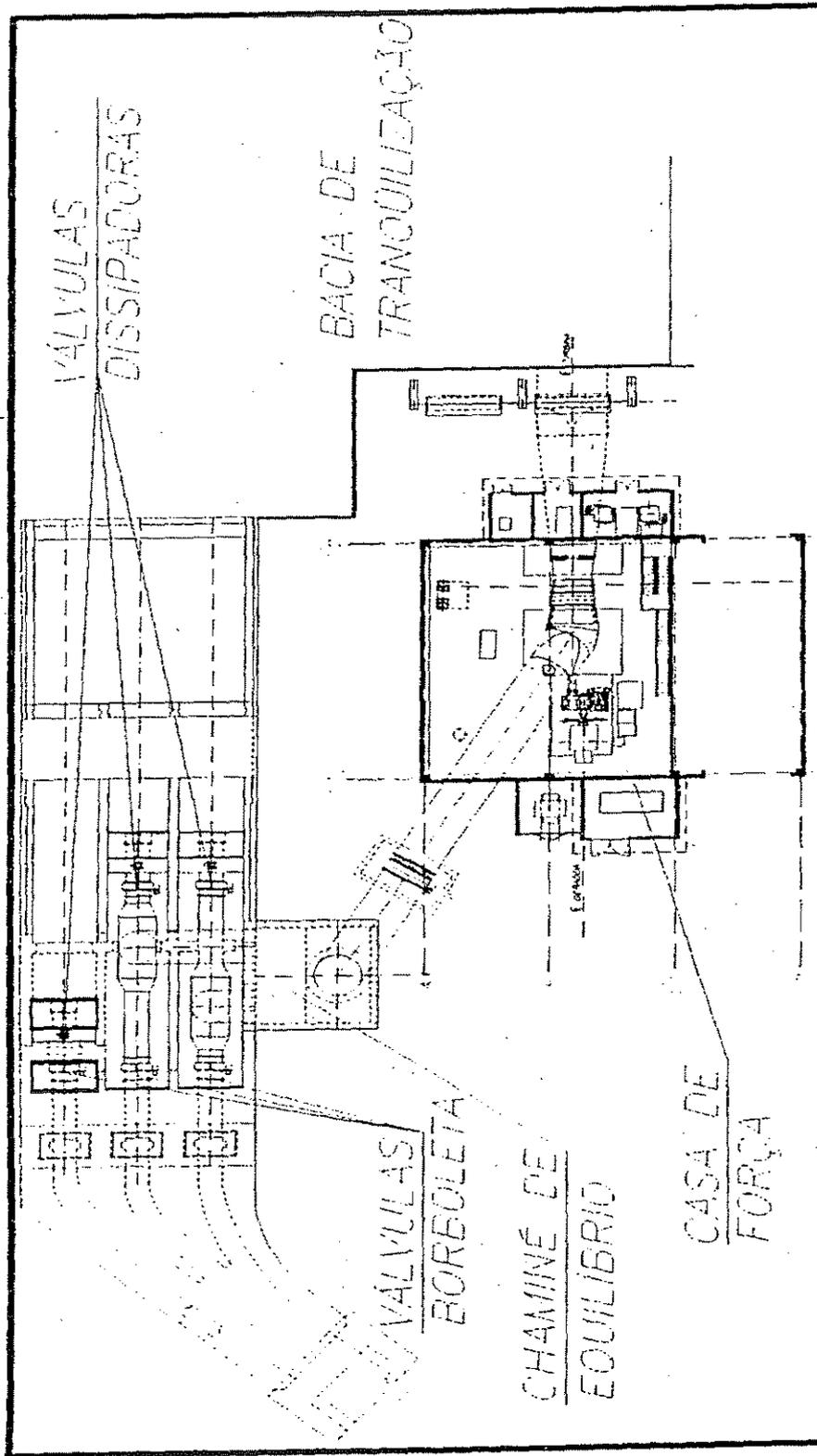


Figura 32- Planta de Alternativa Básica – PCH – Guaraú – (SABESP – 2004)

9. ESTUDO DE CASO 2 - MCH BOTUCATU

9.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Implantação de uma Micro Central Hidrelétrica (MCH) visando aproveitamento de energia disponível dentro das instalações da SABESP nos Sistemas de Esgotos de Botucatu.

9.2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A MCH será instalada no ponto de lançamento dos efluentes tratados da ETE Botucatu. Imagens da ETE e da MCH estão na Figura 34.

9.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Instalações muito simples, com adução dos esgotos tratados em tubo metálico/soldado, com 172 m de comprimento, com 500mm de diâmetro. A queda total é de 51m e a Vazão regularizada de 0,49m³/s. A turbina da MCH será do tipo Michell-Banki, fluxo cruzado e duplo efeito, bastante robusta, com longa vida útil por possuir poucas peças móveis e preço acessível, seu rendimento médio é 70%. A Potência Instalada será de 150 kW.

9.4. POTÊNCIA INSTALADA

$$P_i = \rho \times g \times Q \times H_L \times \eta_T \quad (8.1)$$

Temos então:

$$Q = 0,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_L = 48 \text{ m}$$

$$\eta_t = 70\%$$

$$\eta_g = 93\%$$

$$\rho = 10^3 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P_i = 1000 \times 9,81 \times 0,49 \times 48 \times 0,70 \times 0,93$$

$$P_i = 150.206,01 \text{ W}$$

$$P_i \approx 150 \text{ kW}$$

Para o cálculo da energia média produzida anual, será adotado um regime de trabalho diário de 14 horas.

$$E = P_i \times t \quad (8.3)$$

Temos que:

$$E = 150 \times \frac{14\text{h}}{\text{dia}} \times \frac{365 \text{ dias}}{\text{ano}}$$

$$E = 766.500,00 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}$$

$$E = 766,50 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}}$$

Obs.: O levantamento da potência e energia são preliminares

9.5. VIABILIDADE PRELIMINAR DO EMPREENDIMENTO

Valor do Empreendimento	R\$ 90.000,00 (2004)
Energia poupada mês	$150 \text{ kW} \times \frac{14\text{h}}{\text{dia}} \times \frac{30\text{dias}}{\text{mês}} = 63.000,00 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$
Valor utilizado – R\$/MWh SABESP	0,1539 $\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}$ (2004)
Valor poupado mensalmente	$63000 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \times 0,1539 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = \text{R\$ } 9.695,70$
Tempo previsto para o retorno do capital principal	$\frac{\text{R\$ } 90.000,00}{\text{R\$ } 9.695,70} \times \text{mês} = 9,28 \cong 10 \text{ meses}$
Tempo de vida útil da MCH 15 anos	Projeto viável

Aprofundando este estudo de viabilidade, considerando um ambiente inflacionário de 12% ao ano, ou seja, 1% ao mês e gastos de operação e manutenção da MCH de R\$ 1.000,00 (hum mil reais) ao mês, pode-se simular a amortização do empreendimento com os preços da energia produzida (deixada de ser comprada da concessionária).

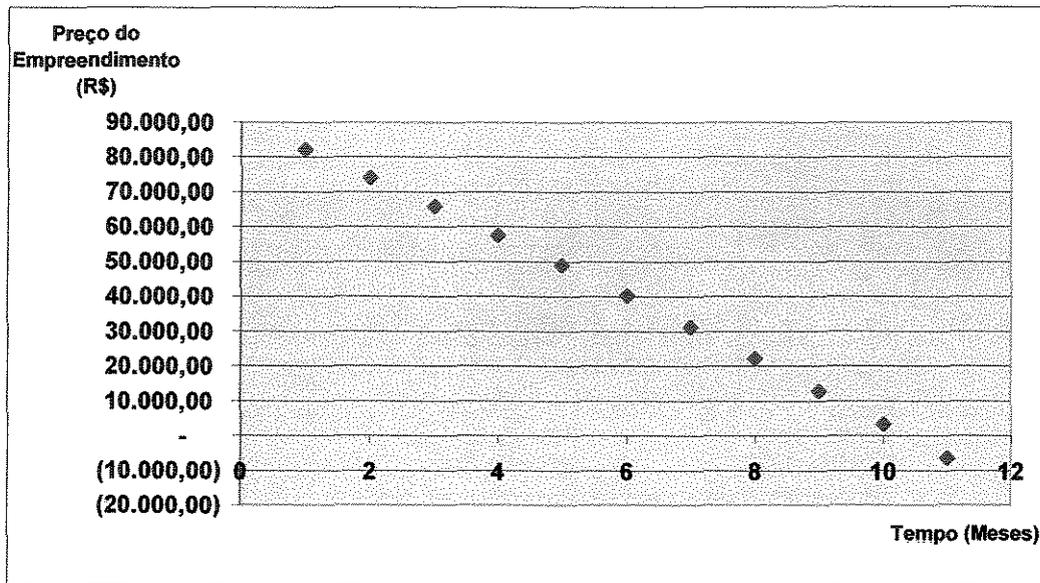
Na tabela 8 simulou-se mês a mês a amortização do empreendimento. No mês 11 a MCH está paga e começa a gerar lucros.

Na Figura 33 mostra graficamente o desenvolvimento da amortização do empreendimento, comprovando sua viabilidade.

Tabela 8 - Amortização do Empreendimento pela Geração de Energia

Obra: MCH Botucatu

Ano	Mês	Preço da Obra (R\$)	Preço Obra + Inflação (R\$)	Preço da Operação+ Manutenção (R\$)	Preços de Operação + Manutenção + Inflação (R\$)	Preço da Obra + Operação + Manutenção + Inflação Amortizado (R\$)	Preço da Energia (R\$/MWh)	Preço da Energia + Inflação (R\$/MWh)	Energia Produzida (Poupada) (KWh)	Preço da Energia Produzida (R\$)	Preço da Obra a ser Amortizado (R\$)	Mês
1	1	90.000,00	90.900,00	1.000,00	1.010,00	91.910,00	153,90	155,44	63.000,00	9.792,66	82.117,34	1
1	2	82.117,34	82.938,52	1.010,00	1.020,10	83.958,62	155,44	156,99	63.000,00	9.890,58	74.068,03	2
1	3	74.068,03	74.808,71	1.020,10	1.030,30	75.839,01	156,99	158,56	63.000,00	9.989,49	65.849,52	3
1	4	65.849,52	66.508,02	1.030,30	1.040,60	67.548,82	158,56	160,15	63.000,00	10.089,38	57.459,24	4
1	5	57.459,24	58.033,83	1.040,60	1.051,01	59.084,84	160,15	161,75	63.000,00	10.190,28	48.894,56	5
1	6	48.894,56	49.383,51	1.051,01	1.061,52	50.445,03	161,75	163,37	63.000,00	10.292,18	40.152,85	6
1	7	40.152,85	40.554,38	1.061,52	1.072,14	41.626,51	163,37	165,00	63.000,00	10.395,10	31.231,41	7
1	8	31.231,41	31.543,72	1.072,14	1.082,86	32.626,58	165,00	166,65	63.000,00	10.499,05	22.127,53	8
1	9	22.127,53	22.348,80	1.082,86	1.093,69	23.442,49	166,65	168,32	63.000,00	10.604,04	12.838,44	9
1	10	12.838,44	12.966,83	1.093,69	1.104,62	14.071,45	168,32	170,00	63.000,00	10.710,08	3.361,37	10
1	11	3.361,37	3.394,98	1.104,62	1.115,67	4.510,65	170,00	171,70	63.000,00	10.817,19	(6.306,54)	11



**Figura 33 – Tempo de Amortização do Empreendimento
Obra MCH – Botucatu**

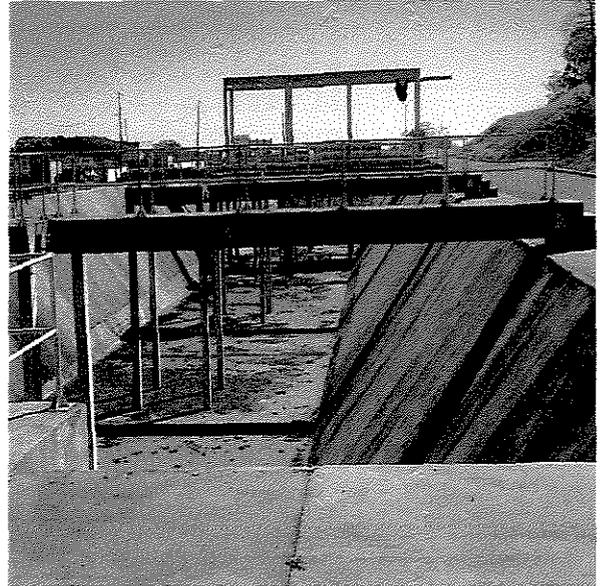
9.6 ASPECTOS AMBIENTAIS

Não haverá nenhum impacto/comprometimento de ambientais naturais locais ou regionais a médio/longo prazo a área/região, já que a estrutura da Casa de Força da MCH é bastante pequena (15m²) (Figuras 35 e 36) localizando-se dentro da área de domínio da ETE, próxima ao rio, integrando-se ao ambiente por ser um local íngreme e de difícil acesso; normalmente não há pessoas transitando pela área, de modo que as instalações não impedirão o trânsito de pessoas ou mesmo animais. O som produzido pela MCH não causará nenhum dano ao entorno por ser quase imperceptível.

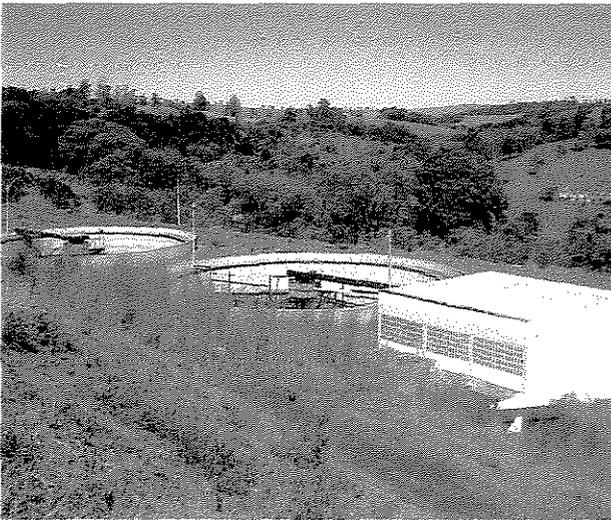
Obs.: No anexo B são mostrados os aspectos institucionais relacionados ao Meio Ambiente para aprovação, junto aos órgãos governamentais, de um aproveitamento hídrico do porte de uma PCH e uma MCH.



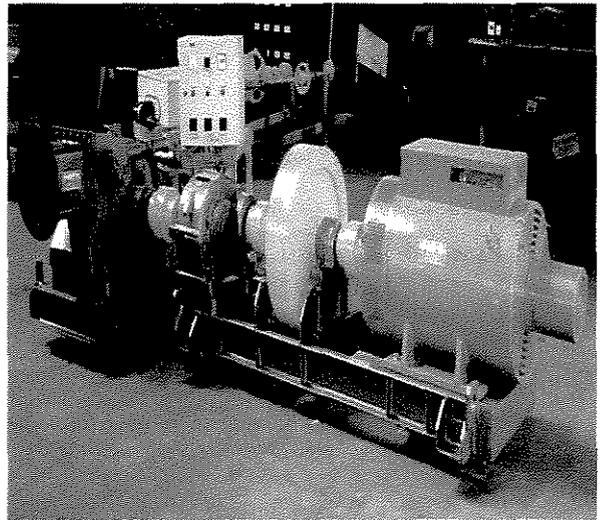
a)



b)



c)



d)

Figura 34 – ETE de Botucatu (a, b e c) – MCH (d)

9.7 PONTOS DE DESTAQUE DO PROJETO MCH – BOTUCATU

- Em vez de dissipar a energia do efluente tratado, este será utilizado para gerar energia elétrica para ser utilizada nas instalações da ETE;
- Otimização de recursos naturais, buscando sua utilização múltipla;
- A Micro Central Hidrelétrica tem obras civis/mecânicas mínimas, exigindo pouca manutenção por sua concepção robusta, com o retorno dos investimentos efetuados em poucos meses;
- A turbina Michell-Banki irá devolver os efluentes ao rio com alto grau de oxigenação, melhorando seu tratamento.

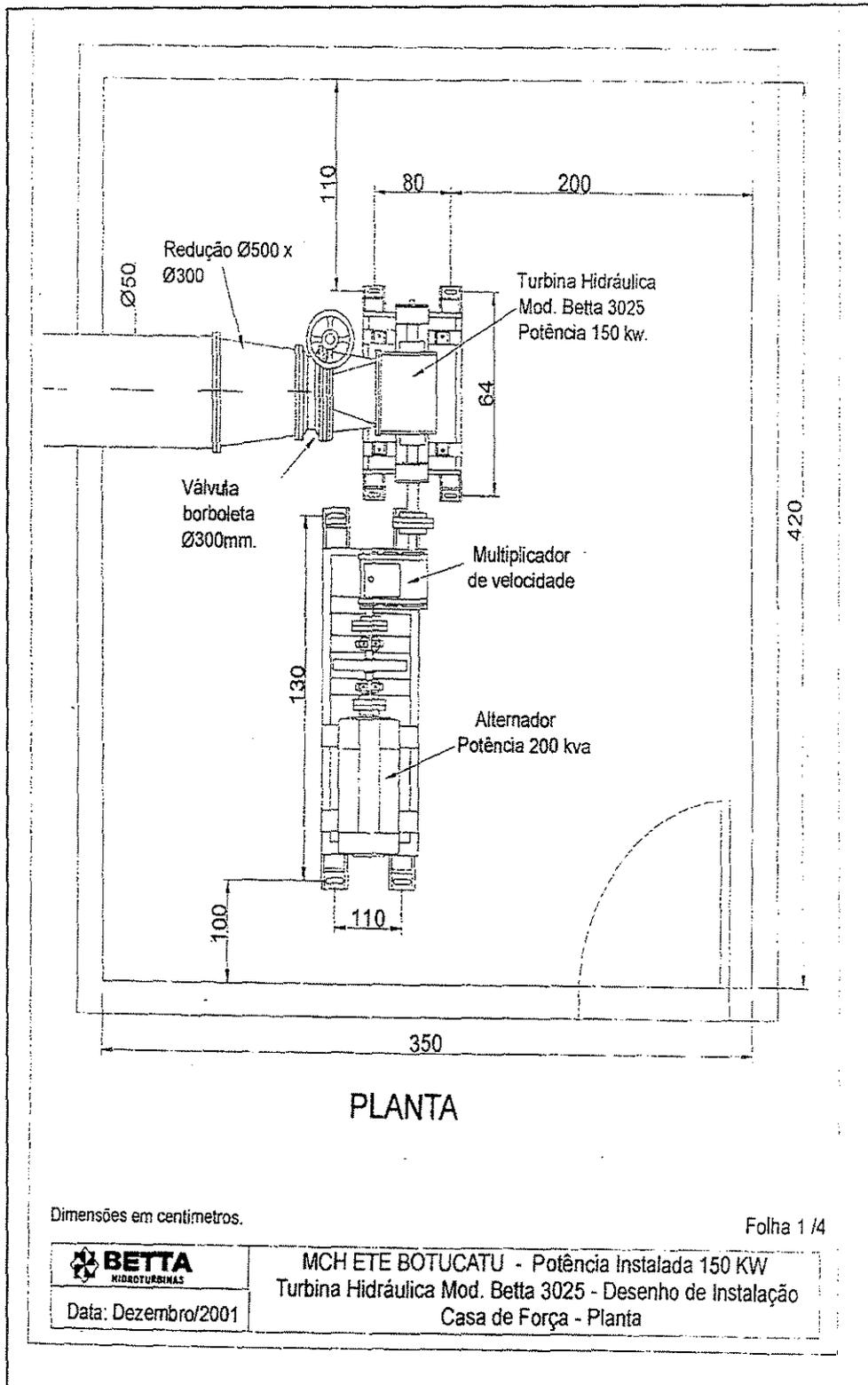


Figura 35 – MCH ETE – Botucatu – Planta – (BETTA - 2004)

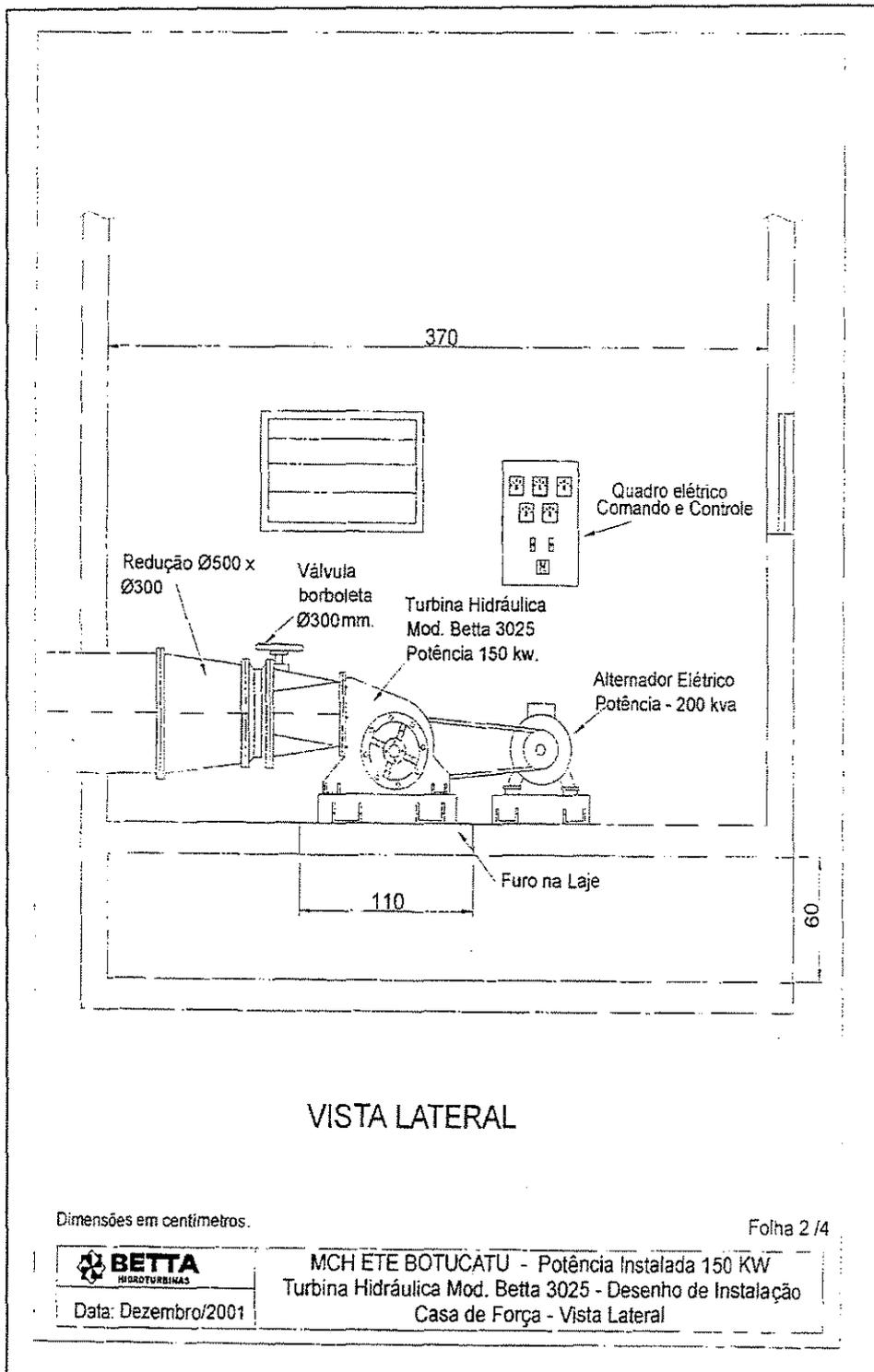
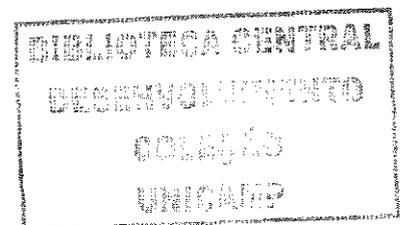


Figura 36 – MCH ETE – Botucatu - Vista Lateral - (BETTA - 2004)



10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 - CONCLUSÕES

Mostrou-se a existência de vários potenciais em sistemas de saneamento ambiental. A sua utilização depende de características próprias do sistema e requer um estudo econômico detalhado de cada possibilidade. Salienta-se que muito embora tais potenciais possam, em uma primeira análise, mostrar-se pequenos, quando usados ao longo do tempo, podem representar economias para o sistema como um todo.

Os dois estudos de caso (Cantareira e Botucatu) demonstram a viabilidade da utilização dessa energia até então desperdiçada, para um sistema de grande (água) e outro de pequeno porte (esgoto), deixando claro aos técnicos da área que devem ter atitude de enxergar esses potenciais por menores que sejam.

O aproveitamento dessa energia não causa grande impacto ao ambiente, uma vez que as obras estruturais já existem, exigindo apenas pequenas adequações.

A geração de energia dentro da infra-estrutura do saneamento abrirá novas oportunidades, com a maximização da utilização de dois recursos escassos e estratégicos, que são a água e a energia.

As empresas de saneamento sendo auto-produtoras de eletricidade devem ficar numa posição mais favorável para a negociação de contratos de fornecimento de energia com as concessionárias.

Essa indústria é grande consumidora de energia (3% da energia consumida no mundo) sendo este um dos seus insumos mais caros; assim, com o auto-produção, a economia com a compra de energia poderá ser investida na melhoria dos sistemas implantados.

Portanto, é justificável e economicamente viável a exploração desses potenciais energéticos.

10.2 – RECOMENDAÇÕES

As empresas projetistas, na concepção dos projetos, devem prever a utilização dos potenciais ao longo dos perfis hidráulicos, evitando-se adequações e estudos posteriores à obra concluída, onde o aproveitamento pode se tornar inviável operacionalmente e economicamente.

A Amazônia, por suas características naturais únicas e baixíssima densidade populacional, torna a distribuição de energia elétrica pelos moldes tradicionais (sistema interligado) inviável economicamente pelas grandes distâncias a serem percorridas, de modo que o suprimento energético para essas populações passa pelas soluções não convencionais, sendo que atualmente são muito utilizados os geradores a diesel, barulhentos e poluidores. Como a região é riquíssima em recursos hídricos e os últimos inventários nos rios da região mostrou a existência de centenas de pequenas quedas, as Pequenas Centrais Hidrelétrica (PCH) poderiam ser inseridos largamente na região levando o conforto da energia elétrica para essas populações.

Um projeto de Saneamento Ambiental, de finalidades múltiplas, muito polêmico e discutido desde os tempo de Dom Pedro II (século 19), parece que finalmente vai sair das salas dos Congressos e Simpósios para ter suas obras iniciadas; é a Tranposição do São Francisco, cujas águas devem ser utilizadas para abastecimento humano, industrial, dessedentação de animais, agricultura (irrigação), criação de peixes e camarões, lazer e turismo em ampla área do sertão nordestino,

beneficiando em torno de 12 milhões de pessoas e, quando as águas recalçadas transporem as bacias, também serão aproveitadas para a geração de energia elétrica, amenizando assim os altos gastos de energia utilizados nas estações de bombeamento para as transposições; estão previstas duas Centrais Hidrelétricas no Eixo Norte do projeto com capacidade de gerar 40 MW (Reservatório Jati) e 12 MW (Reservatório Atalho), ambas no Ceará.

Espera-se que a energia das águas transpostas seja efetivamente aproveitada com as construções das Centrais Hidrelétricas, inclusive para os micros/minis potenciais, que não falte verba para essas construções, de modo que os exemplos de desperdícios de recursos naturais e energéticos mostrados ao longo da dissertação sejam exemplos negativos do passado, e não se repitam.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2002).

ANA, MMA, SRK. Plano Nacional de Recursos Hídricos (2003).

ANDRADE, J.G.P. (2001), Notas de aula do curso de Sistema para Transporte de Líquidos: Adutoras e Bombas, UNICAMP, Campinas, Brasil.

ANDRADE, J.G.P. (2002), Notas de aula do curso de Complementos de Hidráulica, UNICAMP, Campinas, Brasil.

BALARIM, C.R., (1996), Avaliação Expedida de Custo de Implantação de Micro Centrais Hidrelétricas, Botucatu, Mestrado, UNESP, Brasil.

BETTA HIDROTURBINAS, Informes Técnicos/Catálogos – 2002 – Franca – São Paulo, Brasil.

BETTARELLO, A C.T., (2002), Critérios de Projetos Utilizando Turbina Tipo Michell Bank como força motriz para bomba alternativa de múltiplos pistões, Campinas, Mestrado, UNICAMP, Brasil.

BONILHA, J. R., ACCORSI, P. L., LUCCA, Y. F. L., (1993), Apostila do Curso de Mini e Micro Usinas, FCTH-USP-DAEE, São Paulo, Brasil.

BRAGA, B.; Conejo, J. G. L.; Barros, M. T. L.; Junior, M. S. V.; Porto, M, F. A.; Nucci, L. R.; Juliane, N. M. A.; Eiger, S.; Introdução a Engenharia Ambiental – EPUSP – 1999.

ELETROBRÁS – Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (2000).

ELETROBRÁS – Energia Elétrica no Brasil – Breve Histórico – 1880 – 2001 – (2001) – Centro da Memória da Eletricidade do Brasil.

FARRET, F. A., (1999), Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica, UFSM, Editora UFSM.

HARVEY, A., (1993), Micro- Hydro Design Manual, A guide to small-scale water power shemes (ITDG) - UK.

INVERSIN, A. R., (1986), Micro-Hydropower Soucebook, A Pratical Guide to Design and Implementation in Developing Countries, NRECA International Foundation – U. S. A.

JUNIOR, F. A. A. P.; Amaral, C. A., (2000), Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado de São Paulo, 1ª ed., São Paulo, Editora Gráfica Ltda., CSPC.

JUNIOR, A. G. M., (2000), A Turbina de Fluxo Cruzado (Michell Banki) como opção para Centrais Hidrelétricas de Pequeno Porte, São Paulo, Mestrado, EPUSP, Brasil.

KOELLE, E., (2002), Notas de aula de curso de Aproveitamento Hidrelétrico, UNICAMP, Campinas, Brasil.

LIMA, C. M. B., (1993), Critérios de Dimensionamento de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Itajubá, Mestrado, EFEI, Brasil.

LISLEY, R. K., FRANZINE, J. B., (1978). Engenharia de Recursos Hídricos. São Paulo, EDUSP.

MACINTYRE, A. J. (1983), Máquinas Matrizes Hidráulicas, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois.

MAUAD; F. F., (1995), Estudo de uma Turbina de Reação com Pá de Simples Curvatura para utilização no Meio Rural, Itajubá, Mestrado, EFEI, Brasil.

MAUAD, F. F., (2002)), Apostila do Curso Aproveitamento Hidrelétricos, EESC – USP, São Carlos, Brasil.

MENDES, E. L. B., (1999), Reabilitação de Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos. Estudo de Caso. A PCH de “Bicas do Meio”, Itajubá, Mestrado, EFEI, Brasil.

Ministério das Minas e Energia. Manual de Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas, Rio de Janeiro, ELETROBRAS/ DNAEE, 1985, BRASIL.

MOTA, S. (2000) – Introdução a Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, ABES, Brasil.

PACCA, S. A., (1996), A integração das Pequenas Centrais Hidrelétricas ao Meio Ambiente e os Aspectos Legais Relacionados, Mestrado, PIPGE-USP, São Paulo, Brasil.

PIZA, J. T., NETO, A.; NOVA, Nilson A. V.; (1987). Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Irrigação – Possibilidades de Suprimentos Energéticos para os Projetos de Irrigação – Botucatu – PRONI-UNESP.

RAVEN, P. T.; Nebel, B. J.; Environmental. 4ª ed., Willey, 2004.

REZENDE, S. C. HELLER, L; (2002), O Saneamento no Brasil – Políticas e Interfaces, UFMG, Editora UFMG.

SANTOS, A. H. M., FREITAS, M. A. Y., (2000), Workshop Barragem, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Poli-USP, São Paulo, Brasil.

SABESP-CNEC (2002). Projeto Básico – Aproveitamento Hidrelétrico do Sistema Cantareira-RMSP.

Ministério das Cidades – SNSA – IPEA – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – SNIS – 2002

SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C.; (1999), Centrais Hidrelétricas - Estudos para Implantação, Eletrobrás – Rio de Janeiro.

SCHREIBER, G. P.; Usinas Hidrelétricas, 1ª ed.; São Paulo, Edit. Edgar Blucher; 1978.

TIAGO, G. L. F., (1986) Desenvolvimento Teórico para Dimensionamento de Turbina Hidráulica Michell-Banki, Itajuba, Mestrado, EFEI, Brasil.

VIANA, A. N. C. (1986). Bombas Funcionando como Turbinas, Itajubá, Mestrado, EFEI, Brasil.

WRIGHT, R. T.; Nebel, B. J.; Environmental Science – Toward a Sustainable Future, 8ª ed., Prentice Hall, 2002.

12 - ANEXOS

ANEXO A - HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Ano	Eventos
1403	Desenho mais antigo de uma roda d'água que se conhece, com eixo vertical.
1550	J. Besson descreve a primeira turbina axial de reação com pás de madeira, construída na região de Toulouse, na França.
1730	Bernoulli publica em seu livro uma fórmula para o cálculo da força exercida por um jato d'água.
1750	J.A. Segner idealiza a primeira máquina fazendo uso do jato d'água, instalada em Nörten, próximo a Göttingen (rio Leine, Alemanha).
1754	Euler estabelece a equação fundamental das máquinas de fluxo, admitindo escoamento uni direcional e número infinito de pás.
1824	C. Burdin apresenta à Academia de Paris projetos de turbinas de ação e reação e propõe pela primeira vez o nome turbina.
1827	Fourneyron inventa a primeira máquina hidráulica praticamente utilizável, que se transformou posteriormente na turbina de reação.
1834	Fourneyron constrói e instala sua turbina para uma queda de 108 m, potencia de 25 kW e rotação de 2200 rpm.
1838	J. V. Poncelet publica trabalho sobre a turbina de Fourneyron. Propõe uma roda d'água de fluxo inferior com as pás acionadas parcialmente, precursora da turbina de Fluxo Cruzado.

1841	Henschel-Jonval - primeira turbina axial de reação com tubo de sucção. Regulação do nível d'água por meio de vários anéis; vazão o mais constante possível e variável.
1842	Roda tangencial de Zuppinger, para grandes quedas e vazões reduzidas.
1843	Fontaine construiu a turbina de Jonval para saltos constantes e vazões variáveis, trabalhando a livre admissão.
1848	Schwamkrug idealiza a primeira turbina parcial para grandes quedas e vazões reduzidas.
1849	Francis idealiza a turbina Francis. Inicialmente com câmara aberta.
1851	Girard aperfeiçoou a turbina Fontaine, regulando consecutivamente as células, assegurando sua regulação e construindo a turbina parcial com queda a mais constante possível.
1860	Haenel, Knop e Lehmann, constroem a turbina Girard em forma de turbina limite para vazões e alturas variáveis.
1872	Fink institui as palhetas diretrizes giratórias, primeira regulação correta das turbinas de reação.
1873	J.M. Voith constrói a primeira turbina Francis com palhetas diretrizes Fink.
1880	Pelton idealiza e patenteia a turbina Pelton.
1886	G. A. Pfarr constrói para a firma Voith a turbina Francis com caixa espiral.
1891	Primeiro regulador mecânico de rotação construído por G. A. Pfarr e instalado na Usina de Lauffen.
1892	H. Bremer patenteia na Alemanha o injetor para turbina Pelton.
1903	A. G. M. Michell inventa a turbina de fluxo cruzado.
1912	Primeiros experimentos da turbina Kaplan.
1918	Banki constrói e otimiza a turbina de fluxo cruzado, independente de A. G.M. Michell.
1924	A fábrica Charmilles constrói a usina Piottino, na Suíça com turbinas Francis de 300 m de queda e potencia de 22 MW.

1925	Colocação em funcionamento da primeira turbina Kaplan de grandes proporções.
1926	A firma J. M. Voith constrói as primeiras turbinas Kaplan, com pás fixas e 6 MW.
1928	A firma KMW constrói a primeira turbina Kaplan de grande porte com pás móveis potencia de 11 MW e diâmetro de 5,8 m.
1930	A firma J. M. Voith fabrica as turbinas Pelton para Usina de Henry Borden, em Cubatão, S.Paulo.
1931	A firma Escher Wyss constrói a primeira turbina reversível axial (Bomba-Turbina) enquanto que a Voith constrói a primeira turbina reversível tipo Francis, que é instalada na usina reversível de Pedreira para captação e geração de energia (rio Pinheiros – S. Paulo).
1936	A firma Escher Wyss constrói as primeiras turbinas bulbo.
1939	As firmas J. M. Voith e Escher Wyss, constroem as turbinas Francis para queda de 87m, potencia de 85 MW e 4,5 m de diâmetro.
1956	A firma sueca, Nohab, constrói 3 turbinas Francis com rotores completamente soldados para a usina de Stomorfors com potencia de 147 MW.
1957	A firma francesa, Neyrpic, constrói a primeira série de 24 bombas-turbina Kaplan para a usina maré motriz de La Rance (França).
1965	A firma Leningrad Metallindustrie constrói 8 turbinas Kaplan com potencia de 60 MW e diâmetro externo do rotor de 10,3m, até hoje o maior que se tem notícia, para a usina Satarow, no rio Volga.
1966	A firma italiana, Riva, constrói duas turbinas Pelton de dois jatos e eixo horizontal com 130 MW cada e altura de queda 1300 m, para a usina de Monte Cerusio (Itália).
1969	As firmas Andritz (Áustria), e Escher Wyss (Suíça), constroem 4 turbinas Francis com altura de queda de 672m (até então maior do mundo), e potencia de 60 MW cada para a usina de Rosshag (Áustria).

1973	A firma canadense Dominion e americana Allis Chalmers constroem as turbinas Francis para usina de Grand Coulle II, no rio Columbia, estado de Washington, até então as maiores turbinas do mundo com diâmetro externo de 10,30 m. potencia de 700 MW.
1980	A firma Escher Wyss constrói duas turbinas Pelton com potência de 265 MW cada uma, e 6 jatos, para a usina de Silz (Áustria).
1981	As firmas Voith e Neyrpic com suas associadas brasileiras Voith S.P. e Mecânica Pesada, constroem 18 turbinas com 750 MW, com diâmetro da roda, tipo Francis, de 8,60 m, peso de 310 ton., para maior usina até então construída no mundo (Itaipu Binacional).
1984	As firmas Andritz (Áustria) e Escher Wyss (Suíça), constroem para a usina de Häusling, na Áustria, duas turbinas Francis para altura de queda máxima de 140m e potencia de 180 MW. Desde então, esta é a mais alta queda para este tipo de turbina.
1991	As firmas GE Hydro e J.M. Voith iniciam a fabricação das turbinas de "Three Gorges Project", Sanxia, China, com 710 MW, e queda de 80,6 m, a qual após concluída, com previsão entre 2.020 a 2.030, será a maior central hidrelétrica do mundo, com 25.000 MW.
1998	O consorcio formado pelas empresas VATECH VOEST MCE, austríaca, SULZER HYDRO e HYDRO VEVEY, suíças, instalam a turbina Pelton de BIEUDRON, na Suíça, com dois recordes mundiais: maior queda, de 1800 m, e maior potência para uma turbina Pelton, de 423 MW, com diâmetro do rotor de 3,993m.

Fonte: Lauria, Douglas – 1993 em Júnior - 2000

ANEXO B - ASPECTOS INSTITUCIONAIS – MEIO AMBIENTE

B.1 – REGULARIZAÇÃO JUNTO AOS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS DA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA

O SEAQUA - Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental - criado pela Lei Estadual nº 9.509/97, que instituiu a Política Estadual de Meio Ambiente de São Paulo, tem a SMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente como seu órgão técnico executor, que coordena as ações da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, para controle da poluição, fiscalização e monitoramento de atividades poluidoras. Destaca-se o ainda o Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - CONSEMA - (conselho social, com composição paritária entre o poder público e a sociedade civil), enquanto órgão consultivo e deliberativo da política estadual de meio ambiente criado pelo Decreto Estadual nº 20.903/83, e alterado pelo Decreto nº 26.942/87, a quem compete, nos termos do Decreto nº 30.555/89, entre outras tarefas, *"propor, acompanhar e avaliar a política do Estado na área de preservação, conservação, recuperação e melhoria do ambiente, bem como, propor normas e padrões estaduais de avaliação, controle e manutenção da qualidade ambiental!"*.

Para assegurar à sociedade o direito de participar do processo de discussão do empreendimento o CONAMA, na esteira do que já previra o Decreto nº 88.351/83 (que regulamentou a Lei nº 6.938/81 atualmente substituído pelo Decreto nº 99.274 de 06/06/90), impôs que o EIA/RIMA fosse acessível ao público, abrindo ainda a possibilidade de fazer realizar audiências públicas para debater o projeto. Em São Paulo, esta questão vem normatizada no parágrafo 5º, artigo 19 da Lei nº 9.509/97.

As obras relativas à implantação de unidades industriais, e ainda as usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10 MW, são atividades consideradas potencialmente degradadoras do meio ambiente e sujeitas ao licenciamento ambiental, conforme explicitado na Resolução CONAMA nº 001/86, e reiterado pela Resolução CONAMA nº 237/97 Anexo I, que lhe deu redação mais abrangente, elencando os empreendimentos energéticos como Serviço de Utilidade, sem referência à sua capacidade de produção, seja para a

produção de energia elétrica, seja para sua transmissão.

Sem prejuízo para qualquer fator ou ator envolvido, o processo de licenciamento deverá ser efetuado pela SMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente, através do DAIA - Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental, invocando supletivamente, se necessário, o CONSEMA - Conselho Estadual de Meio Ambiente para referendar sua decisão, e consultando a Secretaria de Recursos Hídricos, responsável pela outorga das autorizações para captação e uso das águas, com fulcro na Lei nº 7.663/91 que instituiu a PERH - Política Estadual de Recursos Hídricos, através de um Plano Estadual lastreado por estudos de cada bacia hidrográfica onde foram instalados Comitês de Bacia e Agências da Água conforme também adotado pela Lei Federal nº 9.433/97, que por sua vez, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Fonte: (SABESP – 2004)

B.2 – REGULARIZAÇÃO JUNTO AOS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS DO CONJUNTO MICRO/MINI CENTRAL E TURBINA-BOMBA

Os projetos para utilização da energia da água utilizando-se microcentrais hidrelétricas e conjuntos turbina bomba requerem para sua instalação obras hidráulicas muito simples, com obras civis de pequeno porte, que não causam dano ao meio ambiente.

A implantação desses projetos necessitam para sua regularização a Outorga da água junto ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos e Licenciamento Ambiental através do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

B.2.1 OUTORGA DA ÁGUA

O artigo 11 da Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997 definiu que o regime de Outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso da água.

Qualquer tipo de uso da água precisa da outorga, conforme a constituição Federal (art. 26 – inciso I).

A outorga é solicitada através de requerimento encaminhado a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado, ou do município de este possuir poderes delegados pelo estado para o gerenciamento dos Recursos Hídricos locais.

São necessários os documentos abaixo elencados, que deve ser competente pelo Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado ou do Município ao qual pertence o aproveitamento hidráulico.

- i) Requerimento de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, utilizando formulários padrão para “Captação de Água Superficial”.
- ii) Relatório Simplificado de Avaliação de Eficiência de Uso da Água - RAE.
- iii) Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do responsável técnico pelo estado relativo ao uso dos Recursos Hídricos pretendido.
- iv) Cronograma de implantação do empreendimento.

B.2.2 - LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O Ministério do Meio Ambiente – MMA através do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, pela Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997 definiu o Licenciamento Ambiental como um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades que utilizem recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

Através da Resolução nº 279 de 27 de junho de 2001 e da Medida Provisória nº 2.152-2 de 1º de junho de 2001, o Conselho Nacional do Meio Ambiente considerando a necessidade de estabelecer procedimento simplificado para o licenciamento ambiental de pequeno porte, instituiu o Relatório Ambiental Simplificado – RAS.

O Relatório Ambiental simplificado – RAS apresenta o estudo dos aspectos ambientais relacionados a localização, instalação, operação e ampliação do empreendimento. Contém informações relativas ao diagnóstico ambiental da região da instalação, sua caracterização, a identificação dos impactos ambientais e medidas compensatórias que minimizarão o impacto ambiental.

O Relatório Ambiental simplificado – RAS é composto por:

- i) Descrição do Projeto com suas alternativas tecnológicas e de localização.
- ii) Diagnóstico e Prognóstico Ambiental, Descrição dos prováveis impactos ambientais e sócio-econômicos da implantação e operação do empreendimento, considerando o projeto, suas alternativas, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicando os métodos, técnicas e critérios para sua identificação, quantificação e interpretação; caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, considerando a interação dos diferentes fatores ambientais.

- iii) Medidas mitigadoras e compensatórias, identificando os impactos que não possam ser evitados e recomendações quanto à alternativa mais favorável, junto com um programa de acompanhamento, monitoramento e controle.

Fonte: MMA – 2005 e Betarello - 2002