

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
ELEVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA VIA
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Leandro Rosso Fernandes

FLORIANÓPOLIS, (SC)

Novembro/2007

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
ELEVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA VIA
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Leandro Rosso Fernandes

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Peter Batista Cheung**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA VIA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

LEANDRO ROSSO FERNANDES

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental–TCC II**

BANCA EXAMINADORA :

Prof. Dr. Peter Batista Cheung
(Orientador)

Engo. Gilberto Benedet Júnior
(Membro da Banca)

Prof. Dr. Flávio Rubens Lapolli
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)

NOVEMBRO/2007

*Aos meus pais, Arilton e Roseli,
pela educação e incentivo ao
estudo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e saúde.

Ao professor Peter Batista Cheung, pela orientação deste trabalho.

À minha namorada, Samira, por me fazer feliz.

Ao meu irmão, Marcelo, pelo companherismo.

À toda minha família, pelo incentivo e educação.

Ao SAMAE Içara, por propiciar o estudo.

Ao Engenheiro Gilberto Benedet Júnior, pela disposição e amizade.

À COOPERALIANÇA, pelo auxílio prestado.

À Prefeitura Municipal de Içara, por disponibilizar os dados populacionais.

A todos os professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC/SC.

RESUMO

A disponibilidade de água no mundo é de aproximadamente 400 milhões de quilômetros cúbicos, sendo que apenas 2,5% deste volume são de água doce, disponíveis em geleiras, águas subterrâneas, rios e lagos. Observa-se então que o gerenciamento dos recursos hídricos merece uma atenção especial, visto que contribui no processo de minimização exploratória de novas fontes de abastecimento, que estão cada vez mais raras e inacessíveis. O presente trabalho faz uma abordagem sobre a eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água, diante do elevado consumo de energia gerada neste processo. O mesmo descreve as ações de efficientização de energia que podem ser realizadas, evidenciando as perdas de água que ocorrem nos sistemas e os meios de evitá-las. Este estudo ainda ressalta a importância do correto dimensionamento e operação dos conjuntos motobombas, visando um consumo mais sustentável aliado à redução dos custos com energia elétrica. Estando atento a isto, observa-se que existe a necessidade de se conhecer o comportamento do sistema, que é variável. Esse conhecimento pode ser viabilizado pelos modelos matemáticos que descrevem adequadamente as leis físicas que regem o escoamento no interior dos condutos, bem como demandas e vazamentos. O principal objetivo do presente trabalho é analisar a eficiência energética dos conjuntos motobombas em um sistema elevatório de abastecimento de água através de técnicas de modelagem e simulação. O trabalho ainda propõe análises de diferentes alterações realizadas sobre o cenário construído, além de analisar o consumo per capita da população residente no Distrito de Balneário Rincão. Neste trabalho foi utilizado um modelo matemático de domínio público, o EPANET 2 (ROSSMAN, 2000), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana. Com a realização deste estudo ficou claro que os conjuntos motobombas são os grandes responsáveis pelo elevado consumo energético gerado nos sistemas de abastecimento de água, além de concluir que é possível estabelecer um consumo mais sustentável, aliado aos ganhos econômicos, através de medidas de fácil execução.

Palavras-chave: Sistema de Abastecimento de Água, Modelagem Matemática, Eficiência Energética.

ABSTRACT

The water availability in the world is around 400 million cubic kilometers, being that only 2,5% of this volume are sweet water, available in glaciers, underground waters, rivers and lakes. It can be observed then that the hydraulic resource management deserves a special attention, as it has contributed for the exploratory minimization of new supply sources, which are growing rare and inaccessible. The present work approaches the energetic effectiveness on the water supply systems, face to the high energy consummation generated in this process. It also describes the energy effectivization that can be carried out, evidencing the water losses that occur in the systems and the ways to prevent them. This study still emphasizes the importance of the correct dimensioning and operation of the motor pump groups, aiming a more supportable consummation along with the cost reduction on electrical energy. Aware of that, we can observe that there is the need of knowing the system behavior, which is variable. This knowledge can be feasible by using the mathematical models that adequately describe the physical laws that rule the flowing inside the conducts, as well as the demands and leakings. The main goal of this work is to analyze the energetic efficiency of the motor pump groups of a water supply system through different modeling and simulation techniques. The work also proposes analysis of different alterations carried out over the built scenery, besides analyzing the per capita consummation of the population residing in the District of Balneário Rincão. In this work, a mathematical model of public domain, the EPANET 2 (Rossman, 2000), developed by the American Environmental Protection Agency has been used. By carrying out this study, it has been shown that the motor pump groups are the main responsible ones for the high energetic consummation generated by the water supply systems, besides concluding that it is possible to set up a more supportable consummation, along with the economical gains, through easy execution measurements.

Keywords: Water Supply System, Mathematical Modeling, Energetic Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema Ilustrativo de um Sistema de Abastecimento de Água.....	3
Figura 2.2 - Representação Espacial do Índice de Atendimento Total de Água, Distribuído por Faixas Percentuais, segundo os Estados Brasileiros	5
Figura 2.3 - Representação Espacial do Índice de Atendimento Total de Água, Distribuído por Faixas Percentuais, para Santa Catarina.....	6
Figura 2.4 - Consumo Médio per Capita de Água por Bacia Hidrográfica	8
Figura 2.5 - Usina Hidroelétrica de Xingó - Rio São Francisco.....	11
Figura 2.6 - Selo PROCEL de Economia de Energia.....	18
Figura 2.7 - ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Bombas Centrífugas.....	18
Figura 3.1 - Fatores Multiplicativos de Consumo Horário	26
Figura 3.2 - Editor de Padrão de Consumo.....	26
Figura 3.3 - Editor de Curva da Bomba.....	27
Figura 3.4 - Editor de Curva de Volume	28
Figura 3.5 - Editor de padrão de energia	28
Figura 3.6 - Editor de Controle Simples	28
Figura 3.7 - Opções de Energia	30
Figura 4.1 - Localização do Balneário Rincão e Municípios da AMREC.....	32
Figura 4.2 - Ponto de Captação de Água na Lagoa do Faxinal	35
Figura 4.3 - Sistema de Bombeamento na Captação de Água.....	35
Figura 4.4 - Conjunto Motobomba em Operação na Captação de Água.....	35
Figura 4.5 - Reservatório Elevado na Captação	36
Figura 4.6 - Conjunto Motobomba da Estação de Recalque de Água Tratada.....	37
Figura 4.7 - R.D.A. (Reservatório de Distribuição de Água Tratada Apoiado)	38
Figura 4.8 - R.D.E. (Reservatório de Distribuição de Água Tratada Elevado)	38
Figura 5.1- Modelo Construído.	39
Figura 5.2 - Relatório de Estado.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Municípios, Total e com Serviço de Abastecimento de Água, Segundo as Grandes Regiões – 1989/2000	4
Tabela 2.2 - Déficit na Oferta de Abastecimento de Água no País – 2001	4
Tabela 2.3 - Distribuição da Quantidade de Municípios e Populações Atendidas por Abastecimento de Água na Região Sul e Brasil	6
Tabela 2.4 - Crescimento do Setor de Abastecimento de Água - 2002 a 2005	7
Tabela 2.5. - Índice de Atendimento Urbano de Água por Região Demográfica	7
Tabela 2.6 - Faixas Típicas do Consumo Per Capita de Água	7
Tabela 2.7 - Natureza Jurídico-Administrativa dos Prestadores de Serviço.....	9
Tabela 2.8 - Abrangência dos Prestadores de Serviços de Água.....	10
Tabela 2.9 - Índices de atendimento urbano com água dos prestadores de serviços. 10 regionais e locais participantes do SNIS em 2005, segundo a região geográfica.....	10
Tabela 2.10 - Fontes de Energia do Sistema Elétrico Interligado no Brasil – Ano Base 2005.....	11
Tabela 2.11 - Classificação dos Consumidores	12
Tabela 2.12 - Exemplo de Estrutura Tarifária Azul.....	13
Tabela 2.13 - Exemplo de Estrutura Tarifária Verde.....	13
Tabela 2.14 - Oportunidades de melhoria da eficiência no bombeamento.....	20
Tabela 4.1 - Comparativo das Tarifas B3 e A4.	33
Tabela 4.2 - Características dos Conjuntos Motobombas.....	37
Tabela 4.3 - Características dos Reservatórios de Distribuição.....	38
Tabela 5.1 - Relatório de Energia	40
Tabela 5.2 - Comparativo das Tarifas A4 e B3	41
Tabela 5.3 - Custos Variáveis com o Rendimento.....	41
Tabela 5.4 - Custos Variáveis com o Horário.....	42
Tabela 5.5 - Custo Energético Variável com a População	43
Tabela 5.6 - Custo Variável com os Vazamentos	44
Tabela 5.7 - Consumo Per Capita Mensal.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Composição Média da Despesa de Exploração dos Prestadores de Serviços Regionais Participantes do Diagnóstico 2003.....	15
Gráfico 2.2 - Composição Média da Despesa de Exploração dos Prestadores de Serviços Locais Participantes do Diagnóstico 2003.....	15
Gráfico 3.1 - Consumo Horário para o nó 12.....	26
Gráfico 5.1 - Relatório de Energia.....	40
Gráfico 5.2 - Consumo por Metro Cúbico com Rendimento de 50%.....	41
Gráfico 5.3 - Consumo por Metro Cúbico com Rendimento de 75%.....	42
Gráfico 5.4 - Variação no Tempo de Funcionamento.....	43

LISTA DE SIGLAS

ALLIANCE - Aliança para Conservação de Energia
AMREC - Associação dos Municípios da Região Carbonífera
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CASAN - Companhia Catarinense de Água e Saneamento
ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FAT - Fundo de Amparo ao Trabalhador
FGTS - Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MCIDADES - Ministério das Cidades
MME - Ministério de Minas e Energia
OGU - Orçamento Geral da União
PAC - Programa de Aceleração de Crescimento
PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNCDA - Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL SANEAR - Programa Nacional de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental
PROCELINFO - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SANEAR - Saneamento Ambiental de Rondonópolis
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE GRÁFICOS.....	x
LISTA DE SIGLAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo.....	2
1.2. Justificativa	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1 Sistemas de Abastecimento de Água	3
2.2 Abastecimento de Água no Brasil.....	3
2.2.1 Região Sul e Santa Catarina	5
2.2.2 Evolução do Setor no Período de 2002 a 2005	6
2.3 Consumo Per Capita.....	7
2.4 A Lei 11.445 e o Programa de Aceleração de Crescimento.....	8
2.5 Prestadores de Serviços de Abastecimento de Água	9
2.5.1 Natureza Jurídico-Administrativa	9
2.5.2 Abrangência	9
2.6 Energia Elétrica no Brasil	10
2.7 Estrutura Tarifária de Energia Elétrica	11
2.8 Eficiência Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água.....	14
2.9 Ações de Eficientização de Energia.....	16
2.9.1 Selo e Etiquetagem dos Equipamentos	17
2.9.2 Redução e Controle de Perdas	18
2.10 Os Conjuntos Motobombas.....	19
2.10.1 Casos de Sucesso.....	21
2.10.1.1 Projeto Santana.....	21
2.10.1.2 Projeto desenvolvido em Accra, capital de Gana.....	22
2.11 Modelos de Simulação	22
3. METODOLOGIA.....	24
3.1 Permissão Para a Realização do Estudo.....	24
3.2 Levantamento de Dados.....	24
3.2.1 Levantamentos de Campo	24
3.3 Construção do Modelo no EPANET 2.....	25
3.3.1 Componentes Físicos.....	25
3.3.1.1 Nós.....	25
3.3.1.2 Reservatórios	26
3.3.1.3 Trechos	27
3.3.1.4 Bombas	27
3.3.2 Componentes Não Físicos.....	27

3.3.2.1	Curvas.....	27
3.3.2.2	Padrão	28
3.3.2.3	Controles	28
3.4	Simulações Hidráulicas.....	29
3.5	Modificações no Modelo.....	29
3.5.1	Alteração no Valor das Tarifas.....	29
3.5.2	Alteração no Rendimento das Bombas	30
3.5.3	Alteração no Horário de Funcionamento das Bombas.....	30
3.5.4	Alteração da População Atendida	30
3.5.5	Inclusão de Vazamentos.....	30
3.6	Cálculo do Consumo Per Capta	30
4.	ESTUDO DE CASO E DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO DISTRITO DE BALNEÁRIO RINCÃO.....	32
4.1	Localização	32
4.2	Aspectos Econômicos	32
4.3	Aspectos Institucionais do Serviço de Abastecimento de Água	33
4.4	Tarifação de Energia Elétrica.....	33
4.5	Descrição do Sistema	34
4.5.1	Captação	34
4.5.2	Tratamento de Água	36
4.5.3	Estação de Recalque de Água Tratada	36
4.5.4	Armazenamento de Água Tratada.....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1	Modelo Construído	39
5.2	Resultados da Análise Energética	39
5.2.1	Alteração das Tarifas.....	40
5.2.2	Alteração no Rendimento.....	41
5.2.3	Alteração no Horário de Funcionamento	42
5.2.4	Alteração na população	43
5.2.5	Inclusão de vazamentos.....	44
5.3	Consumo Per Capita.....	45
6.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
7.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	48

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no mundo é de aproximadamente 400 milhões de quilômetros cúbicos, sendo que apenas 2,5% deste volume são de água doce, disponíveis em geleiras, águas subterrâneas, rios e lagos. Observa-se então que o gerenciamento dos recursos hídricos merece uma atenção especial, visto que contribui no processo de minimização exploratória de novas fontes de abastecimento, que estão cada vez mais raras e inacessíveis.

Embora o Brasil ainda conte com uma enorme disponibilidade hídrica, o gerenciamento de água em meio urbano ainda é deficiente. Muitos dos problemas estão relacionados à falta de investimentos no setor, promovendo a deterioração das infra-estruturas e elevando os índices de perdas nos sistemas existentes. Segundo o Ministério das Cidades (2004a), essas perdas são classificadas em reais (físicas) e aparentes (não físicas).

Uma das conseqüências mais graves do mau gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água é a ineficiência energética, com conseqüentes incrementos no custo operacional das companhias. A vazão excedente gerada para suprir as perdas torna-se um agravante considerável nos custos operacionais do sistema, pois o custo com energia elétrica, principalmente aquela utilizada nos conjuntos motobombas, é muitas vezes considerado o segundo maior causador de despesas nas concessionárias, ficando atrás somente dos custos com recursos humanos (pessoal próprio e serviços terceirizados) (MCIDADES.SNSA, 2004b).

O presente trabalho faz uma abordagem sobre a eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água, diante do elevado consumo de energia gerada neste processo. O mesmo descreve as ações de efficientização de energia que podem ser realizadas, evidenciando as perdas de água que ocorrem nos sistemas e os meios de evitá-las. Este estudo ainda ressalta a importância do correto dimensionamento e operação dos conjuntos motobombas, visando um consumo mais sustentável, aliado à redução dos custos com energia elétrica. Estando atento a isto, observa-se que existe a necessidade de se conhecer o comportamento do sistema, que é variável. Esse conhecimento pode ser viabilizado pelos modelos matemáticos que descrevem adequadamente as leis físicas que regem o escoamento no interior dos condutos, bem como demandas e vazamentos.

Para que os modelos funcionem é necessário que se façam algumas observações em campo, com o intuito de disponibilizar dados de entrada e, conseqüentemente, realizar as simulações de acordo com o que se deseja analisar. Neste trabalho foi utilizado um modelo matemático de domínio público, o EPANET 2, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana. Com a realização deste estudo ficou claro que os conjuntos motobombas são os grandes responsáveis pelo elevado consumo energético gerado nos sistemas de abastecimento de água, além de concluir que é possível estabelecer um consumo mais sustentável, aliado aos ganhos econômicos, através de medidas de fácil execução.

1.1. Objetivo

Objetivo Geral

Analisar a eficiência energética dos conjuntos motobombas em um sistema elevatório de abastecimento de água através de técnicas de modelagem e simulação.

Objetivos Específicos

Analisar diferentes alterações realizadas sobre o cenário construído

Analisar o consumo per capita da população residente no Distrito de Balneário Rincão.

1.2. Justificativa

A escassez crescente de mananciais com qualidade e quantidade suficiente para assegurar o abastecimento de água potável das cidades vem se tornando um problema cada vez maior. Essa escassez, devido a poluição e a saturação dos mananciais, se reflete na elevação dos custos de tratamento, de captação e adução de água, principalmente no que diz respeito ao consumo de energia elétrica. Portanto, o gerenciamento eficiente dos sistemas é uma necessidade do ponto de vista técnico e econômico. Esse gerenciamento evita desperdícios de recursos naturais, energia e produtos químicos. Por outro lado, o gerenciamento do sistema implica, necessariamente, em considerar os custos envolvidos e os benefícios resultantes das correspondentes ações.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas de Abastecimento de Água

Um sistema de abastecimento de água é uma obra que envolve a captação de água bruta, sua adução, tratamento, reservação, adução de água tratada e, por fim, a distribuição de água aos consumidores. Esse sistema atua como regulador da qualidade e quantidade de água no ponto de captação, visto que o mesmo é projetado e operado de acordo com as características das suas fontes hídricas de abastecimento.

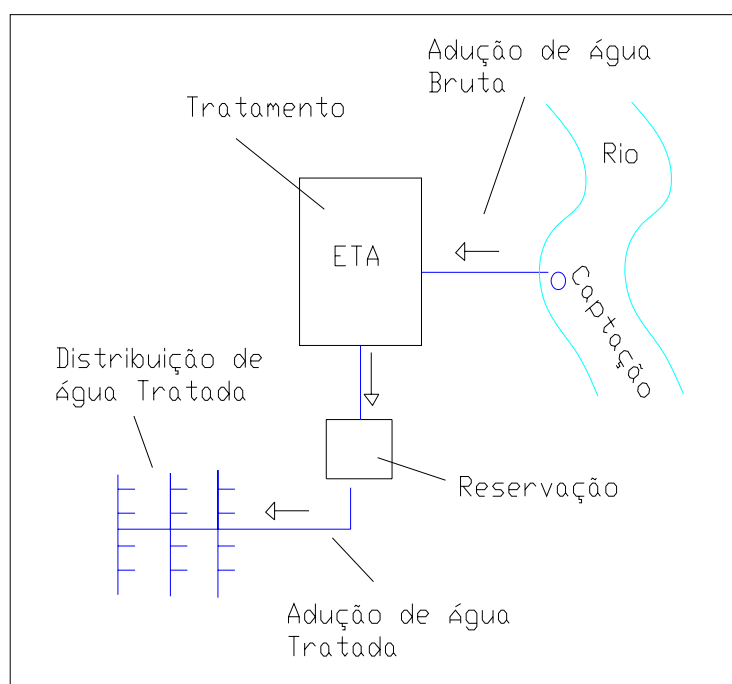


Figura 2.1 - Esquema Ilustrativo de um Sistema de Abastecimento de Água. Fonte: O Autor.

Mais especificamente, segundo SOUZA (1994, *apud* SOARES, 2003), um sistema de distribuição de água ou uma rede de distribuição de água é definido como qualquer arranjo de tubos para o propósito de transportar água. Ainda estão presentes na distribuição alguns elementos hidráulicos como bombas, reservatórios e válvulas.

2.2 Abastecimento de Água no Brasil

O País conta com um intenso processo de urbanização, sobrecarregando os sistemas de abastecimento de água, que muitas vezes não estão preparados e estruturados para atender a demanda. Outro agravante é a estreita ligação que existe entre as companhias e o Estado, estando as mesmas sujeitas à deterioração presente nas finanças públicas, principalmente nas pequenas cidades. Além destes problemas, ainda podem ser citadas as incoerências relativas às tarifas, que tanto podem ser

insuficientes para custear os gastos das companhias, ou por outro lado, excessivas, implicando na inadimplência dos usuários.

A Tabela 2.1 apresenta a situação dos serviços de abastecimento de água no Brasil e grandes regiões, no período de 1989 a 2000. Como se pode observar ocorreu uma evolução com o passar dos anos no percentual de abastecimento de água dos municípios, em todas as regiões do território brasileiro.

Tabela 2.1 - Municípios, Total e com Serviço de Abastecimento de Água, Segundo as Grandes Regiões – 1989/2000

Grandes Regiões	Municípios					
	1989			2000		
	Total	Com serviço de abastecimento de água		Total	Com serviço de abastecimento de água	
		Total	Percentual (%)		Total	Percentual (%)
Brasil	4.425	4245	95.9	5.507	5.391	97.9
Norte	298	259	86.9	449	422	94.0
Nodeste	1.461	1371	93.8	1.787	1722	96.4
Sudeste	1.430	1429	99.9	1.666	1666	100.0
Sul	857	834	97.3	1.159	1.142	98.5
Centro-Oeste	379	352	92.9	446	439	98.4

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 1989/2000.

Na Tabela 2.2 está apresentado o déficit na oferta de abastecimento de água no País, no ano 2001. Pode-se concluir que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste apresentavam os maiores percentuais de atendimento e, como consequência, ostentavam os menores déficits.

Tabela 2.2 – Déficit na Oferta de Abastecimento de Água no País – 2001

Grandes Regiões	Domicílios Particulares Permanentes Urbanos	Domicílios Urbanos com Canalização Interna e Rede Geral de Água	Domicílios Urbanos sem Canalização Interna e Rede Geral de Água	Atendimento (%)	Déficit (%)	(%) do Déficit por Grande Região
Norte	2.249.075	1.254.680	994.395	55.79	44.21	21.90
Nodeste	8.706.711	7.033.720	1.672.991	80.79	19.21	36.84
Sudeste	19.527.302	18.605.190	922.112	95.28	4.72	20.31
Sul	6.222.740	5.802.228	420.512	93.24	6.76	9.26
Centro-Oeste	2.907.204	2.376.305	530.899	81.74	18.26	11.69
Brasil	39.613.032	35.072.123	4.540.909	88.54	11.46	100.00

Fonte: IBGE – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD, 2001.

A Figura 2.2 apresentada a seguir, mostra o índice de atendimento total de água, em porcentagem, para o Brasil. Esse índice é obtido através da relação entre a população total atendida com abastecimento de água e a população total do(s) município(s) atendido(s) com abastecimento de água.

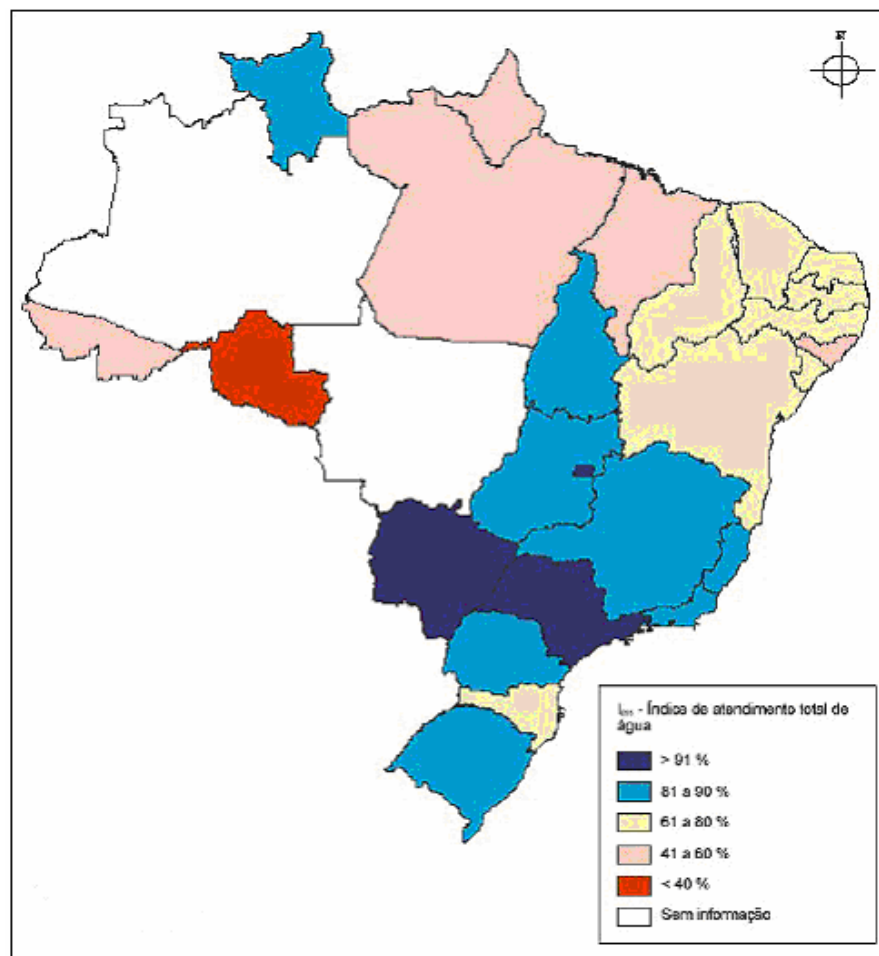


Figura 2.2 - Representação Espacial do Índice de Atendimento Total de Água, Distribuído por Faixas Percentuais, segundo os Estados Brasileiros. Fonte: MCIDADES.SNSA, 2006.

Como pode ser observado na Figura 2.2, os melhores índices se concentram nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, fato que já ocorria no ano de 2000. Cabe ressaltar que Roraima, localizado na região Norte, apresenta um índice positivo (entre 81% e 90%) e Santa Catarina, situada ao Sul, está abaixo dos outros Estados pertencentes à mesma grande região, ostentando um índice na faixa de 61 a 80%.

2.2.1 Região Sul e Santa Catarina

O abastecimento de água na área urbana da região Sul apresenta índices satisfatórios, conforme Tabela 2.3, sendo Santa Catarina o Estado com o menor índice, aquém até mesmo da média brasileira. O Rio Grande do Sul possui um percentual alcançado de municípios atendidos abaixo dos demais Estados e do País, por outro lado, sustenta o maior índice de atendimento urbano da região Sul.

Tabela 2.3 – Distribuição da Quantidade de Municípios e Populações Atendidas por Abastecimento de Água na Região Sul e Brasil

Região	Água			
	Quantidade de municípios	Percentual alcançado (%)	População urbana	Percentual alcançado (%)
PARANÁ	362	90.7	8.289.302	98.1
RIO GRANDE DO SUL	329	66.3	8.717.873	98.2
SANTA CATARINA	239	81.6	4.199.359	89.5
SUL	930	78.3	21.206.534	96.3
BRASIL	4.328	77.8	141.027.900	93.9

Fonte: Adaptado MCIDADES.SNSA, 2006.

A figura 2.3 apresenta uma concentração dos melhores índices de atendimento na parte Nordeste do Estado, enquanto que um número muito grande de municípios encontra-se isento de informações, abrangendo o restante de Santa Catarina.

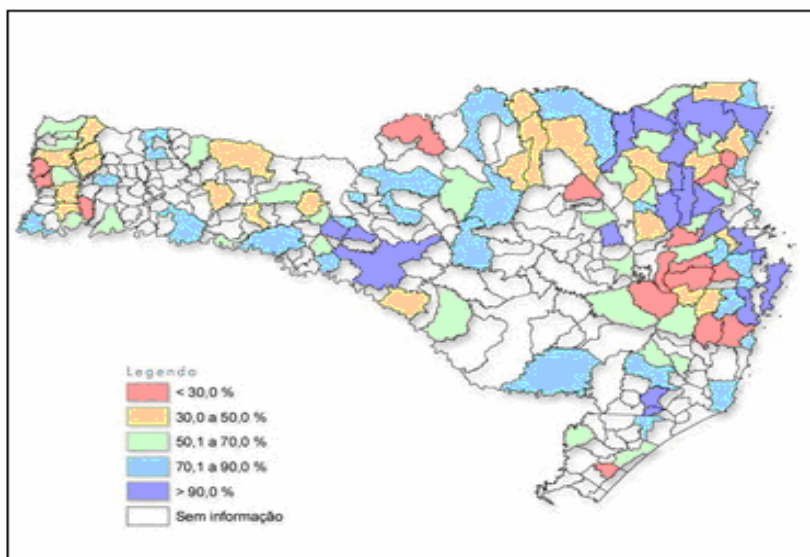


Figura 2.3 - Representação Espacial do Índice de Atendimento Total de Água, Distribuído por Faixas Percentuais, para Santa Catarina. Fonte: MCIDADES.SNSA, 2005a.

2.2.2 Evolução do Setor no Período de 2002 a 2005

ALBUQUERQUE (2006, *apud* MOREIRA, 2006), coordenadora do Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), disse que o acesso à água potável teve um crescimento considerável no Brasil, mas não alcançou a universalização devido à dificuldade de se levar água tratada para as regiões periféricas.

O País obteve um crescimento significativo nos sistemas de abastecimento de água no período de 2002 a 2005, como mostra a Tabela 2.4. O número de ligações cresceu 12,1%, a extensão de rede 12,8%, e o volume de água produzido 8,9%. O

SNIS também revelou que o abastecimento de água alcançou índice médio nacional de 96,3% em 2005, conforme Tabela. 2.5, sendo acrescido 1% em relação ao ano de 2004 (MCIDADES.SNSA, 2006).

Tabela 2.4 – Crescimento do Setor de Abastecimento de Água - 2002 a 2005

ANO	Quantidade de ligações ativas (milhões)	Extensão da rede (km) x 1000	Volume produzido (bilhões m ³)
2002	28,9	362,8	12,3
2005	32,4	409,2	13,4
Crescimento (%)	12,1	12,8	8,9

Fonte: Adaptado MCIDADES.SNSA, 2006.

Tabela 2.5 – Índice de Atendimento Urbano de Água por Região Demográfica (%)

Abrangência	Índice de Atendimento Urbano de Água (%)
Norte	68,5
Nordeste	98,6
Sudeste	96,8
Sul	100
Centro-oeste	100
Brasil	96,3

Fonte: MCIDADES.SNSA, 2006.

2.3 Consumo Per Capita

O consumo per capita se caracteriza como sendo o consumo de água diário requerido por um indivíduo, geralmente expresso em L./hab.dia. Esse parâmetro é utilizado para se ampliar um sistema de abastecimento de água existente, ou, se projetar um novo sistema, pois auxilia na estimativa da demanda de água. A Tabela 2.6 mostra as faixas típicas do consumo per capita de água.

Tabela 2.6 - Faixas Típicas do Consumo Per Capita de Água

Porte da comunidade	Faixa da população (hab.)	Consumo per capta (L./hab.dia)
Povoado rural	< 5.000	90 - 140
Vila	5.000 - 10.000	100 - 160
Pequena localidade	10.000 - 50.000	110 - 180
Cidade média	50.000 - 250.000	120 - 220
Cidade grande	> 250.000	150 - 300

Fonte : SPERLING, 2005.

Segundo SPERLING (2005), estes valores podem variar de localidade para localidade, sendo que são influenciados por vários fatores, são eles:

- Disponibilidade de água;
- Clima;
- Porte da comunidade;
- Condições econômicas da comunidade;
- Grau de industrialização;
- Medição de consumo residencial;
- Custo da água;

- Pressão da água.

O consumo médio per capita de água no País, no ano de 2005, foi de 145,7 l/hab.dia, maior que o consumo em 2002, igual a 142,6 l/hab.dia. (MCIDADES.SNSA, 2006).

A Figura 2.4 mostra que o consumo per capita de água mais observado no território brasileiro está compreendido entre 100.1 e 150 l/hab.dia.

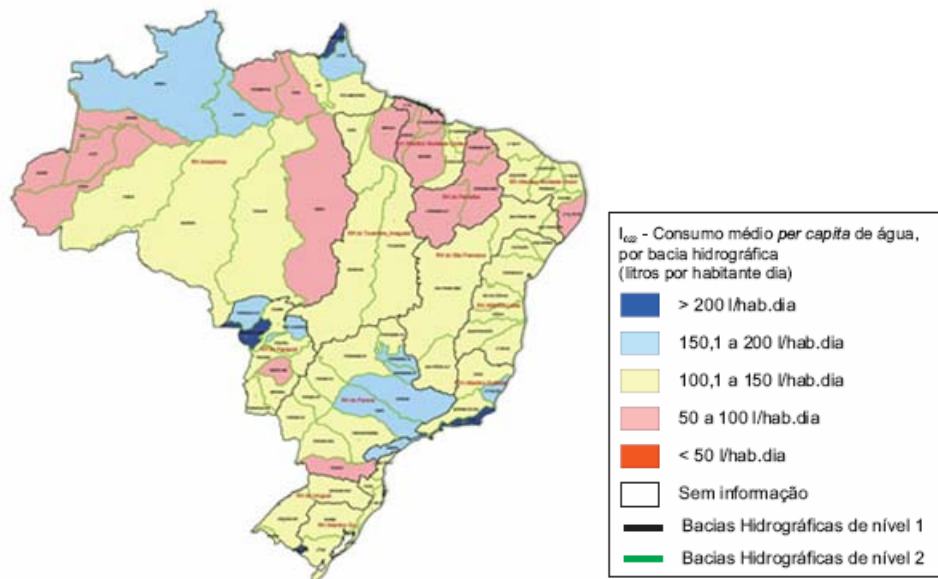


Figura 2.4 – Consumo Médio per Capita de Água por Bacia Hidrográfica. Fonte: MCIDADES. SNSA, 2006.

2.4 A Lei 11.445 e o Programa de Aceleração de Crescimento

Um grande avanço que merece atenção no que diz respeito ao saneamento em geral no Brasil, é a aprovação da lei 11.445/07 (Política Nacional de Saneamento), que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Esta lei representa um passo importante na busca pela organização do setor e melhoria da qualidade de vida da população brasileira, auxiliando no planejamento em busca da sustentabilidade.

Também cabe ressaltar o Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), lançado pelo Governo Federal brasileiro em janeiro de 2007, com o propósito de promover a universalização do saneamento no País. O PAC disponibilizará 40 bilhões de reais para o setor de saneamento no período 2007/2010, que incluem obras de abastecimento de água. Os recursos são provenientes do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço), FAT (Fundo de Amparo ao Trabalhador), OGU (Orçamento Geral da União), além de estados, municípios e prestadoras (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, 2007).

2.5 Prestadores de Serviços de Abastecimento de Água

No Brasil a companhia que mais se destaca é a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), com 16.978 funcionários próprios e um lucro operacional líquido em 2006 de 2,5 bilhões reais. A empresa conta com um sistema composto por 197 Estações de Tratamento de Água, totalizando 56.911 km de rede com abastecimento de água (SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007a).

Em Santa Catarina o destaque é conferido à CASAN (Companhia Catarinense de Água e Saneamento), que atende aproximadamente 95 % da população, com 2.414 funcionários e um lucro operacional líquido em 2006 de 24.760.404,00 reais. A Companhia opera com 299 Estações de Tratamento de Água, e uma extensão de rede de abastecimento com 11.853 km de tubulações. (SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007a).

2.5.1 Natureza Jurídico-Administrativa

A natureza jurídico-administrativa dos prestadores de serviço é classificada em sete categorias (MCIDADES.SNSA, 2006), conforme Tabela 2.7, mas para fins de organização, trabalha-se com dois grupos: entidades de direito público e privado.

Tabela 2.7 - Natureza Jurídico-Administrativa dos Prestadores de Serviço

Administração Pública Direta Centralizada
Autarquia
Empresa Pública
Sociedade de Economia Mista com Gestão Pública
Sociedade de Economia Mista com Gestão Privada
Empresa Privada
Organização Social

Fonte: Adaptado MCIDADES.SNSA, 2006.

PEREIRA JR e ARAÚJO (2001, *apud* MOREIRA, 2006) citam que a tendência mundial para a prestação dos serviços de abastecimento de água e saneamento em geral, consiste na construção de parcerias entre os diversos setores (público, privado e sociedade civil), e que muitos municípios concederão seus serviços à iniciativa privada, com a possibilidade de que alguns estados promovam a privatização de suas companhias estaduais de saneamento.

2.5.2 Abrangência

Quanto à abrangência, os prestadores de serviços enquadram-se em uma das três classes mostradas na Tabela 2.8 (MCIDADES.SNSA, 2006). Os índices de atendimento urbano com água, regionais e locais, são apresentados na Tabela 2.9.

Tabela 2.8 — Abrangência dos Prestadores de Serviços de Água

Abrangência	Atendimento	Administração
Regional	Vários municípios	Companhias estaduais
Microrregional	Mais de um município	Consórcios intermunicipais
Local	Município em que está sediada	Serviços municipais

Fonte: Adaptado MCIDADES.SNSA, 2006.

Tabela 2.9 — Índices de Atendimento Urbano com Água dos Prestadores de Serviços Regionais e Locais Participantes do SNIS em 2005, Segundo a Região Geográfica

Abrangência	Índice de Atendimento Urbano de Água (%)	
	Regional	Local
Norte	72,9	61,3
Nordeste	97,8	100,0
Sudeste	95,4	100,0
Sul	100,0	100,0
Centro-oeste	99,3	100,0
Brasil	96,1	96,7

Fonte: Adaptado MCIDADES.SNSA, 2006.

Segundo PEREIRA JR e ARAÚJO (2001, *apud* MOREIRA, 2006), a prestação de serviços está intimamente ligada ao nível de desenvolvimento das regiões. Os municípios mais ricos e com maior participação da sociedade tendem a ser servidos por prestadoras locais, enquanto que os menos favoráveis financeiramente têm seus serviços prestados pelas companhias estaduais de saneamento.

2.6 Energia Elétrica no Brasil

A energia é um fator extremamente influente na sobrevivência e desenvolvimento de uma nação. No Brasil não é diferente, sendo que o sistema elétrico brasileiro é caracterizado pelo seu grande potencial hidroelétrico. O País conta com uma área territorial muito extensa, provida de grandiosos e renováveis volumes de água, na qual os rios são as fontes alimentadoras da eletricidade. A hidroeletricidade é obtida através do represamento dos rios, denominado barragens, que armazenam uma quantidade suficiente de água para produzir a energia elétrica, através das hidroelétricas.

O Brasil é o maior produtor de hidroeletricidade da América Latina. Existem centenas de barragens construídas com fins energéticos no território brasileiro, que causam impactos sociais e ambientais. O sistema interligado nacional conta com uma capacidade instalada de 93.158 MW, transmitida por mais 84.000 km de linhas de transmissão (BRASIL.MME.EPE, 2006). A Tabela 2.10 mostra a soberania representada pela energia hidroelétrica no país.

Tabela 2.10 - Fontes de Energia do Sistema Elétrico Interligado no Brasil – Ano Base 2005

Fonte	Capacidade Instalada (MW)	%
Hidroelétrica	70.858	77.8
Termoelétrica	20.293	19.9
Nuclear	2.007	2.3
Total	93.158	100,0

Fonte: Adaptado BRASIL.MME.EPE, 2006.

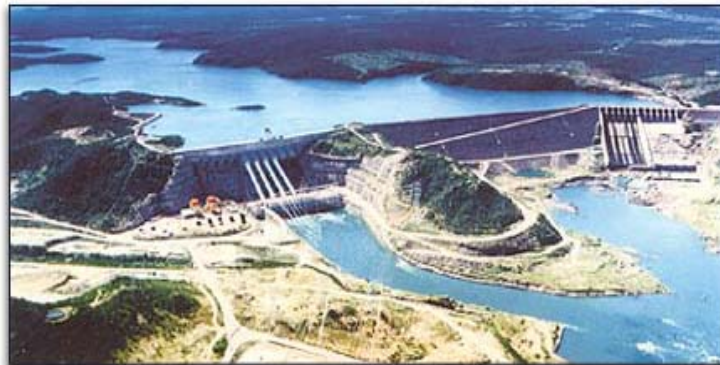


Figura 2.5 – Usina Hidroelétrica de Xingó - Rio São Francisco. Fonte: Eltman Engenharia e Sistemas.

Mesmo possuindo esse grandioso volume de água para gerar energia, o País segue cauteloso, haja vista o “apagão elétrico” ocorrido no ano de 2001. Como forma de minimizar os riscos de um novo apagão, o governo brasileiro sancionou a Lei 10.295, em 17/10/2001, popularmente conhecida como a “Lei da eficiência energética”. Esta lei dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia, e cria níveis mínimos de eficiência e máximos de consumo específico de energia para os equipamentos (BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL, 2007).

2.7 Estrutura Tarifária de Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica é igual à potência em watts (W) vezes o tempo em horas (h), expressa em wathora (Wh). O valor da fatura a ser paga é expresso pela multiplicação do consumo pelo valor da tarifa aplicada, somada a demanda faturada no caso dos consumidores do grupo A. Portanto, a conta de energia é função da tarifa aplicada, da potência dos equipamentos e seus respectivos tempos de funcionamento, podendo ainda ser influenciada pela demanda contratada.

Segundo a Resolução nº 456 da ANEEL (2000), a estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas, de acordo com a modalidade de fornecimento. Essa Resolução ainda expõe que existem duas modalidades tarifárias, conforme a Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Classificação dos Consumidores

estrutura tarifária							
SUBGRUPOS TARIFÁRIOS							
grupo A	Classificação para os consumidores que recebem energia em tensão igual ou superior a 2.300 Volt						
tensão de fornecimento	acima 230 kV	88 kV a 138 kV	69 kV	30 kV a 44 kV	2,3 kV a 25 kV	abaixo de 2,3 kV	
subgrupo	A1	A2	A3	A3a	A4	AS	
grupo B	Classificação para os consumidores que recebem energia em tensão inferior a 2.300 Volt						
tipo de consumidor	residencial	residencial baixa renda	rural	cooperativa eletr. Rural	serviço público irrigação	demais classes	iluminação pública
subgrupo	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B4

Subgrupos tarifários para a maioria das instalações do setor de saneamento básico

Fonte: MCIDADES. SNSA, 2005b.

Os consumidores do Grupo B (baixa tensão) possuem tarifa monômnia, ou seja, são cobrados apenas pela energia consumida. A cobrança dos consumidores do Grupo A (média e alta tensão) é feita tanto pela demanda quanto pela energia que consomem, caracterizando a tarifa binômnia, podendo estes ainda estar enquadrados em uma das três alternativas:

- Tarifação convencional;
- Tarifação horo-sazonal Verde;
- Tarifação horo-sazonal Azul.

A estrutura tarifária convencional é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Já a estrutura tarifária horo-sazonal, caracteriza-se pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, conforme especificação a seguir (ANEEL, 2000):

a) Tarifa Azul: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia.

b) Tarifa Verde: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

c) Horário de ponta (P_o): período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, considerando as características do seu sistema elétrico. Esse período geralmente fica compreendido entre 17h e 21h, e também é conhecido como “horário de pico”, período onde ocorre maior consumo de energia.

d) Horário fora de ponta (F): período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

e) Período úmido (U): período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

f) Período seco (S): período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.

Tabela 2.12 - Exemplo de Estrutura Tarifária Azul

Segmento sazonal	Período seco Maio a Novembro		Período úmido Dezembro a Abril	
	Ponta 17:30 as 20:30 hs	Fora ponta demais hs	Ponta 17:30 as 20:30 hs	Fora ponta demais hs
Tarifa consumo R\$/KWh	0.222	0.112	0.203	0.100
Tarifa demanda R\$/KWh	34.24	11.02	34.24	11.02
Tarifa demanda excedente R\$/KWh	102.710	33.050	102.710	33.050

Fonte: MCIDADES. SNSA, 2005b.

Tabela 2.13 - Exemplo de Estrutura Tarifária Verde

Segmento sazonal	Período seco Maio a Novembro		Período úmido Dezembro a Abril	
	Ponta 17:30 as 20:30 hs	Fora ponta demais hs	Ponta 17:30 as 20:30 hs	Fora ponta demais hs
Tarifa consumo R\$/KWh	0.985	0.112	0.966	0.100
Tarifa demanda R\$/KWh	11.020		11.020	
Tarifa demanda excedente R\$/KWh	102.710		102.710	
		33.060		33.060

Fonte: MCIDADES. SNSA, 2005b.

Para efeito de aplicação de tarifas, ficam estabelecidas as seguintes classes (ANEEL, 2000):

- I – Residencial
- II – Industrial
- III - Comercial, Serviços e Outras Atividades
- IV – Rural
- V - Poder Público
- VI - Iluminação Pública
- VII - Serviço Público
- VIII - Consumo Próprio

Os sistemas de abastecimento de água são enquadrados na classe VII, onde ocorre o fornecimento, exclusivamente, para motores, máquinas e cargas essenciais à operação de serviços públicos de água, esgoto, saneamento e tração elétrica urbana e/ou ferroviária, explorados diretamente pelo Poder Público ou mediante concessão ou autorização, devendo ser consideradas as seguintes subclasses:

- a) Tração Elétrica;
- b) Água, Esgoto e Saneamento.

Outro aspecto que deve ser observado, visando o melhor gerenciamento dos gastos com energia elétrica, é a relação existente entre a demanda contratada e a demanda medida. As definições mostradas a seguir são oriundas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2000).

Demanda contratada: demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

Demanda medida: maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

Demanda de ultrapassagem: parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW).

A concessionária verifica o valor da demanda contratada e a máxima registrada no período, cobrando a de maior valor entre as duas para faturar a demanda. Entretanto se o valor de demanda medida for maior que o da contratada e acima da tolerância determinada (acima de 10 % para unidades consumidoras em média tensão) a concessionária fatura o valor correspondente a demanda contratada com a tarifa normal e a demanda excedente com uma tarifa de ultrapassagem, sendo que este valor excedente é usualmente tratado como multa por demanda de ultrapassagem (MCIDADES. SNSA, 2005b).

Portanto, como se pode observar, os prestadores de serviços devem estar atentos a essa relação. Tanto se pode estar pecando pelo uso superior à demanda contratada, com conseqüente pagamento de multas, quanto se estar utilizando uma demanda abaixo da contratada, mas pagando-se pela mesma.

2.8 Eficiência Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água

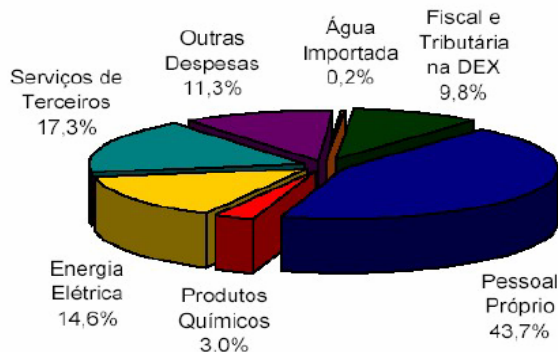
A eficiência energética consiste na racionalização do consumo de energia elétrica, através de medidas que visam o combate ao desperdício e a redução dos custos e investimentos setoriais (ELETROBRÁS.PROCEL).

KURAHASSI (2006) cita que a gestão do uso de energia elétrica resulta em economia e melhoria da eficiência e da qualidade na prestação de serviços, além de mitigar impactos ambientais.

Entre dois e três por cento do consumo de energia do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para fins domésticos e industriais. O consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos 25%, por meio de ações de efficientização. (ALLIANCE, 2002).

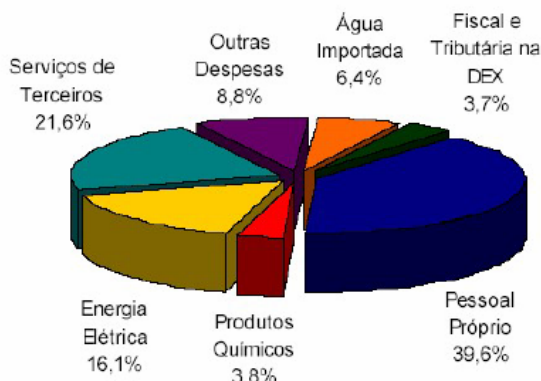
O custo gerado pelo uso de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água é muito elevado, podendo ser considerado o segundo maior causador de despesas nas concessionárias, ficando atrás somente dos custos com recursos humanos (pessoal próprio e serviços terceirizados), conforme Gráficos 2.1 e 2.2 mostrados abaixo.

Gráfico 2.1 – Composição Média da Despesa de Exploração dos Prestadores de Serviços Regionais Participantes do Diagnóstico 2003



Fonte: MCIDADES.SNSA, 2004b.

Gráfico 2.2 – Composição Média da Despesa de Exploração dos Prestadores de Serviços Locais Participantes do Diagnóstico 2003



Fonte: MCIDADES.SNSA, 2004b.

Portanto, é necessário que se invista na redução deste item, associando a redução de custos aos ganhos proporcionados ao meio ambiente. O Programa Nacional de Eficiência Energética no Saneamento Ambiental (PROCEL SANEAR) é um exemplo, obtido através do Protocolo de Cooperação Técnica firmado entre o MME e MCidades. Os principais investimentos realizados desde então foram voltados para a capacitação de profissionais, chamada pública de projetos e capacitação laboratorial, totalizando R\$ 20 milhões até 2007 (ELETROBRÁS. PROCEL, 2005a).

Mas os investimentos não devem apenas ser atribuídos às instituições governamentais, havendo também a necessidade do envolvimento por parte das

concessionárias e da sociedade em geral, promovendo a racionalização do uso da energia elétrica.

2.9 Ações de Eficientização de Energia

As ações de efficientização de energia ainda são vistas por muitas companhias de abastecimento como algo a ser tratado em segundo plano, pois temem que o investimento aplicado tenha um retorno de longo prazo ou, até mesmo, não venha a retornar. Portanto, para que se alcance a eficiência energética, é necessário primeiramente o comprometimento da alta administração, haja vista a necessidade de investimentos financeiros para que se tenham resultados positivos.

Segundo ELETROBRÁS. PROCEL (2005b), as ações de efficientização de energia são avaliadas através de indicadores, estando relacionados ao consumo (KWh/m³) ou ao custo (R\$/MWh) gerado pelo uso da energia elétrica.

LEAL e BARBOSA (2003, *apud* KURAHASSI, 2006) destacam que as experiências internacionais mostram investimentos adequados no setor de abastecimento de água, acarretando resultados positivos para os custos de energia, enquanto que no Brasil as iniciativas são modestas na maioria das empresas. Os autores concluem que tanto os consumidores quanto as companhias são beneficiados pelos programas de efficientização de energia.

Segundo ALLIANCE (2002), o potencial para melhorias de efficientização de água e energia é grandioso. Como exemplo cita a Índia, onde se estima que as companhias de água municipais gastem até 60 por cento do seu orçamento de energia com o bombeamento de água.

Na realidade, muitas são as maneiras de se aperfeiçoar o sistema energético dentro das companhias de abastecimento, podendo-se estabelecer estratégias de atuação nos dois lados do setor, o do fornecimento e/ou da demanda. No que diz respeito à demanda, o trabalho pode ser voltado para a redução no consumo de água e desperdício da população, através do uso de instrumentos de conscientização e informação, embora não seja fácil mudar os seus hábitos. Dentre os meios capazes de promover essas mudanças, podem ser citadas aulas de educação ambiental nas escolas, uso dos meios de comunicação como jornais e rádios, visando o uso sustentável da água. Em casos extremos, a redução na demanda pode diminuir a necessidade de bombas e tubos.

Atuar no lado do fornecimento implica em medidas mais complexas e onerosas. Segundo Dalton Monteiro Virgilio, engenheiro adjunto do Serviço de Saneamento Ambiental de Rondonópolis (SANEAR), as ações de efficientização de energia podem ser administrativas ou de investimento. Dentre as ações administrativas está o refinamento dos contratos junto à concessionária, revisão no dimensionamento dos equipamentos instalados, a desativação de unidades consumidoras, entre outros trabalhos. As ações de investimento implicam em custos e que visam à economia de energia, como à aquisição de equipamentos, materiais ou

acessórios, até mesmo a aquisição de equipamentos para a substituição dos instalados (DIÁRIO REGIONAL SINOP, 2007).

Para ALLIANCE (2002), os problemas que mais afetam a eficiência energética dos sistemas são:

- Layout impróprio do sistema;
- Superdimensionamento do sistema;
- Seleção incorreta do equipamento;
- Equipamentos antigos e ultrapassados;
- Manutenção precária.

Segundo ALLIANCE (2002), a solução para esses problemas envolve:

- Redimensionamento do sistema e reajuste do equipamento;
- Redução da bomba impulsora;
- Redução de vazamentos e outras perdas;
- Atualização dos equipamentos;
- Tubos de baixo atrito;
- Bombas eficientes;
- Motores com inversor de velocidade ajustável;
- Capacitores;
- Transformadores;
- Melhoria de práticas operacionais e de manutenção.

2.9.1 Selo e Etiquetagem dos Equipamentos

MOREIRA et. al. (2007) realizaram um estudo envolvendo os processos de etiquetagem e selo de eficiência em motores elétricos e conjuntos motobombas, tendo em vista que estes são os principais equipamentos consumidores de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água. Os autores citam que o processo de etiquetagem e selo de eficiência energética dos conjuntos motobombas está menos avançado do que os motores elétricos, sendo o atraso justificado pela complexidade técnica de se avaliar a eficiência energética de conjuntos motobombas. Os resultados obtidos, segundo os autores, foram excelentes, visto que desde o início do processo os ganhos energéticos são significativos.

Esses dois processos são ferramentas muito valiosas na busca pela efficientização de energia. Segundo (ELETROBRÁS. PROCELINFO, 2007), o selo e a etiqueta contribuem para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais, estimulando a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes para os consumidores. Abaixo seguem as Figuras 2.6 e 2.7, o selo e a etiqueta, respectivamente.



Figura 2.6 - Selo PROCEL de Economia de Energia. Fonte: ELETROBRAS. PROCEL, 2007.



Figura 2.7 – ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Bombas Centrífugas. Fonte: INMETRO. PBE, 2007.

Cabe ressaltar que essa etiqueta se restringe a um número pequeno de família de bombas, havendo a necessidade de se ampliar esse processo. Como se observar, a etiqueta apresenta informações referentes ao consumo de energia, rendimento do conjunto e dados sobre o desempenho do equipamento.

2.9.2 Redução e Controle de Perdas

O índice de perdas ultrapassa o patamar de 50% em muitos sistemas de abastecimento de água do País, mas o seu controle esbarra muitas vezes na falta de capital para investimentos. A verdade é que o controle de perdas afeta diretamente a eficiência hidráulica e energética dos sistemas.

O MCIDADES.SNSA (2004a), define as perdas de água como sendo as parcelas correspondentes aos volumes não contabilizados, englobando as perdas físicas, oriundas de vazamentos, e as não físicas, resultantes de ligações clandestinas e defeitos nos hidrômetros.

O decréscimo nos custos de produção é uma consequência do gerenciamento eficiente das perdas físicas, enquanto que a redução das perdas não físicas gera um aumento da receita tarifária. Existem seis requisitos básicos que devem ser observados quando se pretende reduzir as perdas nos sistemas de abastecimento de água (Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, 1999), são eles:

1. Subdivisão do Sistema;
2. Monitoramento;
3. Setorização;
4. Cadastro Técnico;
5. Cadastro de Consumidores;
6. Micromedição.

GUMIER e LUVIZOTTO JR (2007) afirmam que a redução dos índices de perda de água conduz a um maior equilíbrio financeiro para companhia de saneamento, pois a captação excessiva de um volume hídrico gera um aumento no consumo de energia elétrica pelos componentes de bombeamento, além de custos adicionais em insumos e mão de obra para operação do sistema.

O diretor presidente das águas Guariroba no Mato Grosso do Sul, Leonardo Barbirato Júnior, disse que “o investimento no melhoramento das condições hidráulicas de abastecimento de água traz confiabilidade operacional e maior disponibilidade de abastecimento, deixando-se de gastar dinheiro na ampliação da produção de água, somente com o controle de perdas”. Ele ainda cita que “os ganhos alcançados com a redução de perdas serão os volumes disponibilizados para o futuro” (SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007b).

É importante também ressaltar que se haja preventivamente no combate às perdas em geral, evitando futuros consertos e complicações. Para tal, é necessário a utilização de materiais de boa qualidade, instalados por profissionais capacitados e munidos de instrumentos adequados na execução da obra.

2.10 Os Conjuntos Motobombas

Para que o sistema de abastecimento de água opere corretamente é indispensável o uso dos conjuntos motobombas, tanto na etapa inicial através da captação, quanto na fase final, onde ocorre a distribuição de água para a população. A bomba funciona com o auxílio de motores, responsáveis por um alto consumo de energia elétrica. Esse conjunto tem como função a elevação da altura de água ou da pressão, fazendo com que o fluido alcance regiões com condições topográficas desfavoráveis.

TSUTIYA (2001, *apud* MOREIRA, 2007), disse que a energia elétrica é o segundo item das despesas de exploração dos prestadores de serviços de saneamento ambiental, visto que o primeiro é normalmente despesas com pessoal. Segundo o autor, 90% do consumo total de energia elétrica é representado pelos conjuntos motobomba.

Segundo ELETROBRÁS. PROCEL (2005b), ações de melhoria no rendimento dos conjuntos motobombas podem economizar até 10% da energia utilizada. Com o intuito de melhorar a eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água, mais especificamente no setor de bombeamento, é necessário que se esteja atento às oportunidades de melhorias, conforme Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Oportunidades de melhoria da eficiência no bombeamento

OPORTUNIDADE	DESCRIÇÃO
Melhorar o rendimento da bomba.	Seleção adequada da bomba. Verificação do ponto de funcionamento e ajuste para a faixa de maior rendimento.
Melhorar o rendimento do motor.	Adequação do motor à carga da bomba. Uso de motores de alto rendimento.
Reduzir a vazão recalçada.	Construção de reservatórios por zona de pressão.
Reduzir pela variação da velocidade.	Uso de variadores de velocidade para acionamento de bombas que trabalham com variação de carga ao longo do dia.
Fazer a associação adequada de bombas.	Associação em série, paralela ou individual, procurando otimizar o ponto de funcionamento do sistema.
Eliminar os problemas de cavitação.	O NPSH disponível calculado deve ser superior em 20% e no mínimo em 0,50 m ao NPSH requerido pela bomba em todos os pontos de operação.
Evitar a recirculação.	Uso de anéis de desgaste ou outros dispositivos de vedação com as folgas corretas.

Fonte: ELETROBRÁS. PROCEL, 2005b.

Para que ocorra um decréscimo nos custos de energia, é necessário atuar nas variáveis que influenciam a potência elétrica, conforme a eq. (2.1) (ELETROBRÁS. PROCEL, 2005b). Como mostra a eq. (2.2), quando se diminui a potência o mesmo ocorre com o consumo e, conseqüentemente, os custos são reduzidos.

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_{MT}}{\eta_B \cdot \eta_M}, \text{ onde:} \quad \text{eq. (2.1)}$$

P - potência absorvida da rede elétrica;
 γ - peso específico do fluido;
 Q - vazão bombeada;
 H_{MT} - altura manométrica total;
 η_B - rendimento da bomba;
 η_M - rendimento do motor elétrico.

$$C = P \cdot t, \text{ onde:} \quad \text{eq. (2.2)}$$

C - consumo de energia;
 t - tempo.

Como se pode observar são cinco os elementos que interferem no cálculo da potência elétrica, sendo dois inversamente e três diretamente proporcionais. O baixo rendimento nos conjuntos motobombas implica em acréscimos nos custos com energia. Portanto, é interessante que se opere com rendimentos satisfatórios, obtidos através de um estudo bem elaborado na etapa de implantação do projeto, onde é

avaliado o conjunto que melhor atende às características do sistema, bem como a realização de análises visando à manutenção dos equipamentos. Outra maneira de se obter benefícios energéticos pode ser alcançada diminuindo a altura geométrica e/ou a perda de carga (distribuída e localizada), que juntas compõem a altura manométrica total (H_{MT}). Por outro lado, alterar o peso específico do fluido ou a vazão bombeada é praticamente inviável.

Com o objetivo de estudar a viabilidade econômica de alternativas de eficiência energética do sistema de adução de água de Campina Grande, MONTENEGRO et. al. (2007) realizaram um estudo onde foi realizada uma alteração no sistema, através da substituição dos conjuntos motobombas e modificações feitas nas tubulações e elevatórias. Como resultado, obtiveram uma economia mensal de R\$ 89.064,26, sendo o investimento inicial ressarcido em apenas dois anos.

OTERO, COURA e GOMES (2007) realizaram um estudo com o objetivo de apresentar métodos expeditos para determinação do rendimento dos conjuntos motobombas e seu consumo específico. Esses autores citam que “o dimensionamento dos conjuntos deve ser adequado às condições de trabalho, pois tanto o subdimensionamento quanto o superdimensionamento podem acarretar consumo excessivo de energia elétrica”. Como conclusão do trabalho, recomendam que medições mais rigorosas devem ser realizadas, tendo em vista a ocorrência de dados não muito precisos como vazões estimadas por falta de medidores. Ainda concluíram que, na maioria dos conjuntos estudados, o rendimento era inferior ao valor de placa e a medição do rendimento dos conjuntos ou levantamento das curvas do sistema não era realizada.

2.10.1 Casos de Sucesso

Neste momento serão apresentados dois casos reais que resultaram no decréscimo do uso e custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água, através de ações de efficientização energética nos sistemas de bombeamento. No primeiro momento, será ilustrado um caso ocorrido no Brasil, no Estado de São Paulo. O segundo projeto de efficientização mostrado foi realizado em Accra, Capital de Gana.

2.10.1.1 Projeto Santana

Esse projeto foi desenvolvido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), com o apoio da ELETROBRÁS.PROCEL. O projeto priorizou a otimização do abastecimento de água e a eficiência energética, com o foco na configuração do sistema de bombeamento, especialmente dos conjuntos motobombas, totalizando um investimento de R\$ 1.000.000,00. (ELETROBRÁS.PROCEL, 2003)

Entre as ações realizadas, destacam-se a instalação da macromedição individualizada, substituição dos conjuntos motobombas por outros eficientes,

instalação de conversor de frequência e instalação do sistema de automação local para otimização da operação.

Os resultados obtidos foram a redução da demanda contratada e do consumo de energia elétrica da Estação Elevatória de Água Santana de 236 MWh/mês para 107 MWh/mês e a obtenção de uma economia mensal de R\$ 28.600,00. A redução das perdas reais de água também foi significativa. Devido à operação do conversor de frequência, o volume médio de água do setor foi reduzido em 487.180 m³/mês, representando uma recuperação financeira por redução de vazamentos, de R\$ 146.154,00 por mês.

2.10.1.2 Projeto desenvolvido em Accra, capital de Gana

O projeto desenvolvido pela Companhia de Água de Gana Ltda teve o propósito de reduzir os custos com energia, para disponibilizar finanças visando estender e aperfeiçoar o sistema existente (ALLIANCE, 2002).

O bombeamento é o principal condutor de custos neste caso, então as ações foram voltadas para a redução no consumo total de energia, horas de operação e contas de energia. A Companhia estava pagando penalidades altas por conta de baixos fatores energéticos causadas por capacitores ineficientes, assim como motores demasiadamente grandes e com velocidade invariável. Portanto, foram comprados 13 capacitores eficientes para serem instalados nas estações. Como resultado, houve uma economia de mais de US\$ 5.000/ano, com um período de retorno de apenas 1,37 anos.

Esses dois casos apresentados mostram algumas medidas, dentre tantas outras existentes, que resultam em melhorias na eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água. O capital investido pode gerar um retorno financeiro num curto espaço de tempo, e a redução dos custos operacionais se torna uma boa solução para se realizar novos investimentos.

2.11 Modelos de Simulação

Para que se obtenha maior controle e confiabilidade hidráulica e energética nos sistemas de abastecimento de água, que estão cada vez maiores e mais complexos, é indispensável o uso de novas tecnologias, como é o caso da telemetria e dos simuladores hidráulicos. A telemetria é usada para o monitoramento das redes de água, onde ocorre um processo de transmissão de informações sobre o funcionamento da rede. Outro instrumento muito utilizado é o simulador hidráulico. Estes modelos de simulação fornecem a resposta de um sistema a um conjunto de informações de entrada (parâmetros). O decisor fica responsável por examinar as conseqüências de diversos cenários que podem ser reproduzidos, tanto se tratando de um novo projeto ou de uma análise feita no sistema existente.

O modelo EPANET 2 (ROSSMAN (2000)) é um simulador de redes hidráulicas, em período extensivo, utilizado para planejamento, controle e gestão operacional de sistemas de distribuição de água. Este modelo permite executar

simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição sob pressão.

O WaterCad é um sistema de gerenciamento de informações geográficas completo, desenvolvido pela Haestad Methods, com a capacidade de realizar análises da qualidade da água, determinar a vazão de incêndio exigida, calibrar redes de distribuição, entre outros.

O MIKE NET, desenvolvido em cooperação com BOSS International, USA, usa o mecanismo numérico do EPANET. O mesmo é aplicável para simulações de demandas nodais, curvas de perda de carga do sistema, idade da água, entre outros.

CARRIJO et al. (2003) desenvolveram um modelo computacional direcionado ao controle operacional ótimo de sistemas de macro distribuição de água potável, utilizando o EPANET 2 como ferramenta para a otimização operacional de um sistema. O objetivo principal foi o de desenvolver uma ferramenta útil e bastante flexível para utilização por parte do operador de sistemas de abastecimento de água. No caso do objetivo econômico, pretendeu-se minimizar os custos relativos ao consumo de energia elétrica nas estações elevatórias de água.

CARRIJO (2004) também utilizou o simulador hidráulico EPANET 2 como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de um modelo computacional, direcionado ao controle operacional ótimo de sistemas de macro distribuição de água potável. O autor avaliou o objetivo econômico e a confiabilidade hidráulica, sendo que o índice de condição operacional de bombas foi um dos parâmetros avaliados. Como resultado obteve uma redução aproximada de 60% no funcionamento das bombas no horário de pico, reduzindo os custos com energia elétrica.

Com o intuito de minimizar os custos com energia elétrica na distribuição de água, VICENTE (2006) propôs um modelo de operação sustentado por um sistema de suporte à decisão que atende as condições/restrições hidráulicas. As avaliações foram feitas no modelo de simulação hidráulica WaterCad. Como resultado, o estudo de caso confirmou a obtenção de ganhos operacionais no que diz respeito ao custo de energia elétrica.

3. METODOLOGIA

Esse estudo de caso realizado constitui em um trabalho de conclusão de curso de caráter científico. Neste capítulo serão apresentados os procedimentos realizados para alcançar o principal objetivo deste trabalho, que é analisar o consumo energético dos conjuntos motobombas de um sistema elevatório de abastecimento de água através de técnicas de modelagem e simulação, sob diferentes cenários. O estudo se restringe ao período compreendido entre os meses de Abril e Setembro, visto que nos demais meses o sistema é influenciado pela população proveniente de outras cidades, que não reside no Balneário, com o intuito de passar os fins de semana ou toda a temporada de Verão, aumentando a demanda de água. Também serão descritos os passos efetuados com vistas à análise do consumo per capita da população residente na região estudada, considerado um objetivo secundário deste trabalho.

3.1 Permissão Para a Realização do Estudo

O primeiro passo consistiu na pesquisa referente à forma e responsabilidade da administração dos serviços de abastecimento de água em estudo. A verificação da viabilidade de se realizar o trabalho foi feita através de uma reunião com o diretor e o Engenheiro Sanitarista e Ambiental do prestador de serviços de abastecimento de água. Os mesmos tomaram o conhecimento dos objetivos do trabalho e permitiram a realização do estudo, se comprometendo a disponibilizar todas as informações necessárias para a sua elaboração.

3.2 Levantamento de Dados

Essa etapa é essencial para a construção de um modelo, pois é o momento onde se caracteriza os dados necessários para alimentá-lo e, posteriormente, realizar as simulações. Dentre os dados obtidos estão as cotas topográficas e localização dos componentes do sistema, disponibilizados pelo SAMAE Içara. O SAMAE Içara ainda disponibilizou as faturas de energia elétrica e a relação cadastral dos usuários dos serviços prestados pelo mesmo, onde se encontram os volumes micromedidos de água e o número de ligações ativas.

O número de habitantes residentes no Balneário Rincão foi fornecido pela Secretária de Saúde do Município de Içara. A empresa responsável pelo fornecimento de energia, COOPERATIVA ALIANÇA (COOPERALIANÇA), auxiliou no melhor entendimento sobre as faturas de energia, além de fornecer e esclarecer o contrato existente entre a mesma e o prestador de serviços de abastecimento de água.

3.2.1 Levantamentos de Campo

Com o intuito de conhecer o sistema realizaram-se três visitas às instalações, onde foram tiradas fotos e recolhidos dados através de medições e observações de campo, análises dos projetos e estudos existentes, além de contar com informações e

anotações fornecidas pelos operadores mais experientes. Dentre as informações obtidas estão as distâncias entre os elementos do sistema, comprimento e diâmetro das tubulações, características dos conjuntos motobombas, reservatórios e da Estação de Tratamento de Água.

3.3 Construção do Modelo no EPANET 2

Dentre os modelos matemáticos citados neste trabalho e tantos outros existentes, o EPANET 2 foi escolhido para realizar as simulações hidráulicas, visto que o mesmo é um software de domínio público e muito bem estruturado, podendo ainda ser copiado e distribuído livremente.

No começo do mês de Outubro iniciou-se o processo de transferência dos dados obtidos sobre o sistema de abastecimento de água para o modelo matemático EPANET 2, respeitando o traçado original e as características físicas do sistema.

3.3.1 Componentes Físicos

O EPANET 2 realiza as simulações considerando que o sistema de distribuição de água é um conjunto de trechos ligados a nós. As tubulações, bombas e as válvulas redutoras são representadas pelos trechos, enquanto que as conexões e os reservatórios são representados pelos nós.

3.3.1.1 Nós

Os nós recebem e distribuem a água presente na rede, e são caracterizados como pontos de ligação dos trechos. Alguns dados de entrada são necessários para caracterizar o nó: cota geométrica, consumo base e padrão de consumo.

Inicialmente foram inseridos no modelo as cotas dos nós, sendo o consumo base e padrão de consumo atribuídos somente aos nós localizados após os reservatórios de distribuição, bem como àqueles que representam o consumo do Município de Içara e Balneário Barra Velha, por serem os nós que efetivamente representam o consumo de água da população.

O consumo base dos nós foi estimado através dos volumes micromedidos nas residências, desconsiderando as perdas existentes devido à falta de dados. Para tal, utilizou-se a micromedida mensal mais representativa ocorrida no período das análises, entre Abril e Setembro, que corresponde a 7.903 m³/mês ou 3.04 l/s para o Bairro Rincão Norte/Centro, e 13.781 m³/mês ou 5.31 l/s para o Bairro Rincão Sul.

Da mesma forma foram estimados o consumo base de parte do Município de Içara, atendido pelo SAMAE Içara, e do Balneário Barra Velha, obtendo-se 44.4 l/s e 0.88 l/s, respectivamente.

Pelo fato de não existirem valores de macromedida no sistema, devido à falha dos equipamentos instalados, optou-se por utilizar um padrão de demanda horária convencional, baseado no modelo de demanda de Portugal, conforme Figuras 3.1 e

3.2. Esse padrão caracteriza a variação do consumo com o tempo, associando um fator multiplicativo ao consumo horário.

Período	1	2	3	4	5	6	7
Fator Multiplicativo	0.7195	0.5815	0.4605	0.3915	0.3645	0.3595	0.3720
8	9	10	11	12	13	14	15
0.5440	1.1820	1.4885	1.3575	1.3340	1.4255	1.5035	1.5265
16	17	18	19	20	21	22	23
1.2045	1.0870	1.1520	1.2115	1.2715	1.3435	1.2995	1.0490
24							
							0.8225

Figura 3.1 - Fatores Multiplicativos de Consumo Horário.

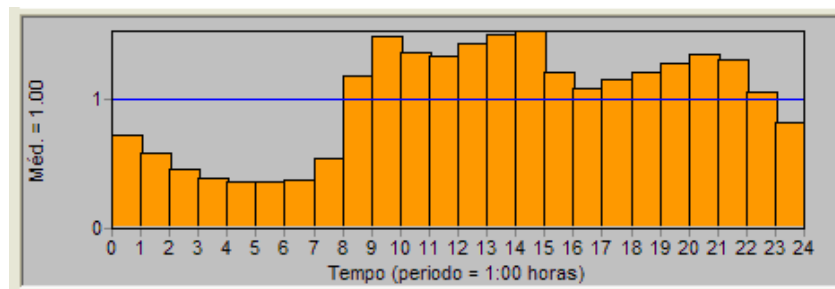
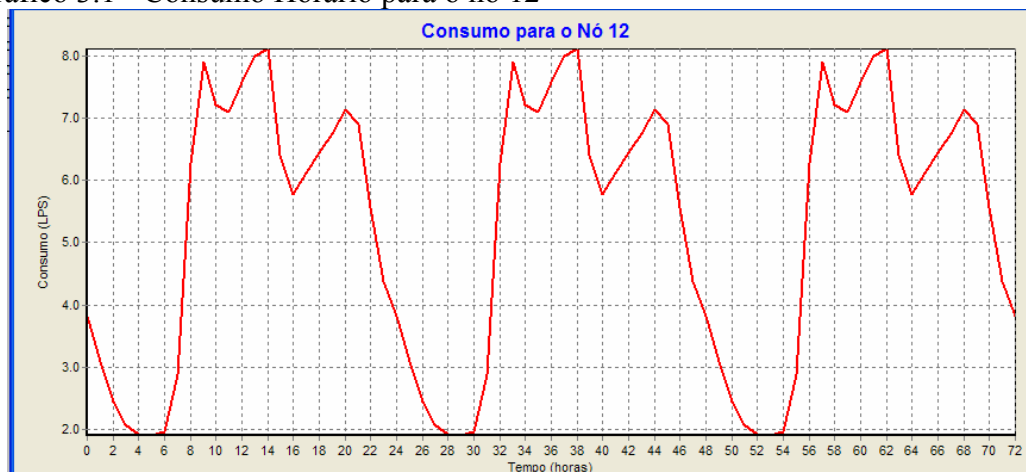


Figura 3.2 - Padrão de Consumo de Portugal.

Como se pode observar, esse padrão corresponde ao consumo observado na maioria das cidades, principalmente aquelas que não sofrem grande influência de consumos industriais noturnos, como é o caso do Distrito de Balneário Rincão. A Figura 3.2 mostra o consumo reduzido no período até as sete horas da manhã, com um pico compreendido entre as 9 e 15 horas, onde o fator multiplicativo é mais representativo, bem como também ilustra o Gráfico 3.1.

Gráfico 3.1 - Consumo Horário para o nó 12



3.3.1.2 Reservatórios

Após alimentar o modelo com os dados referentes aos nós, foram inseridas as propriedades dos reservatórios. Os reservatórios são considerados como nós especiais da rede, sendo armazenadores limitados de água, podendo sofrer variações no seu

volume durante a simulação. Na captação de água utilizou-se um reservatório de nível fixo (RNF), onde foi necessário somente o valor do nível de água. Para os outros reservatórios, de nível variável (RNV), foram colocadas algumas propriedades, tais como: cota, altura de água inicial, máxima e mínima, além do diâmetro.

3.3.1.3 Trechos

A água é transportada pelas tubulações, que são trechos que ligam os pontos da rede. O escoamento no modelo EPANET 2 ocorre dos pontos de maior carga hidráulica para os pontos com carga hidráulica mais baixa, estando sempre sob pressão. Para se iniciar a simulação foi necessário inserir alguns parâmetros das tubulações, incluindo o comprimento, diâmetro, coeficiente de rugosidade e estado inicial de operação.

3.3.1.4 Bombas

As bombas são consideradas trechos especiais, tendo como parâmetros de inserção obrigatórios a potência ou a curva da bomba. Neste trabalho foram utilizadas as curvas das bombas, construídas através dos dados de vazão e altura manométrica da bomba, como ilustra a Figura 3.3.

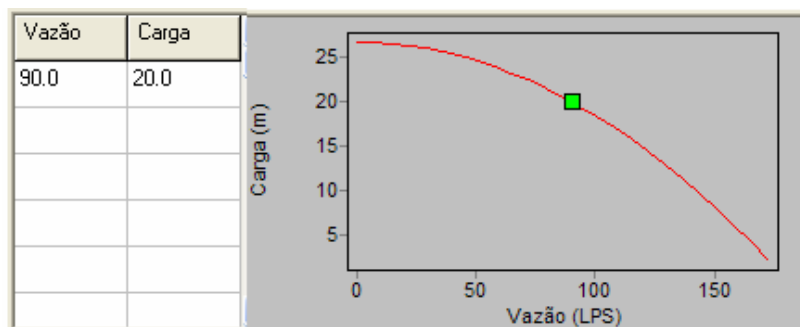


Figura 3.3 - Editor de Curva da Bomba - Bomba de captação (B1).

3.3.2 Componentes Não Físicos

O EPANET 2 ainda permite definir três categorias de informação sobre a rede: curvas, padrões e controles, que possibilitam a descrição do comportamento e dos aspectos operacionais do sistema, podendo assim, estabelecer intervalos de tempo para se fazer as análises e, conseqüentemente, analisar o modo que a rede opera ao longo do tempo.

3.3.2.1 Curvas

As curvas podem estar relacionadas ao rendimento, perda de carga, volume e à bomba. Nesse trabalho utilizou-se a curva da bomba, conforme já foi apresentado na Figura 3.3, além da curva de volume, necessária para os reservatórios de nível e formas variáveis, como ilustra a Figura 3.4.

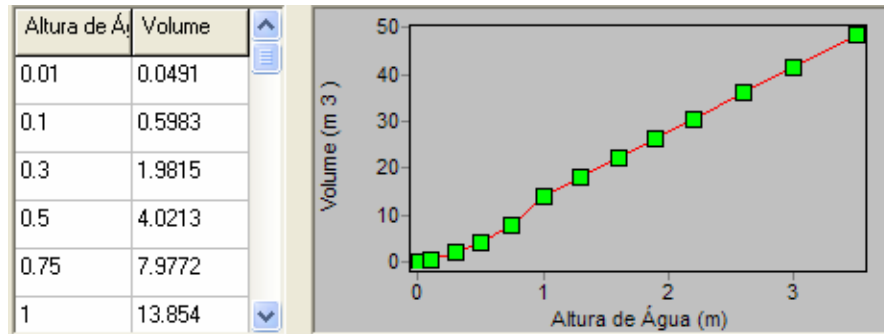


Figura 3.4 - Editor de Curva de Volume – Reservatório de Alimentação da ETA.

3.3.2.2 Padrão

A categoria padrão também já foi apresentada neste trabalho, quando se comentou sobre o padrão de consumo dos nós. Outro padrão utilizado foi o relativo ao custo de energia elétrica, tendo em vista que a tarifa cobrada no horário de ponta, entre 18 e 21 horas, é cinco vezes maior do que a fora de ponta, conforme Figura 3.5.

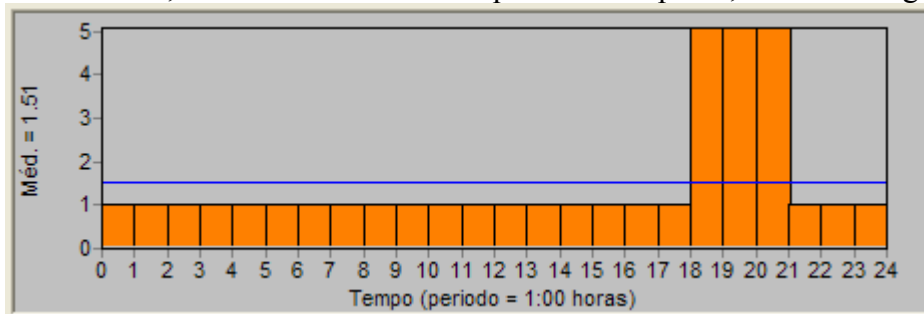


Figura3.5 - Editor de Padrão de Energia.

3.3.2.3 Controles

Por último os controles estabelecem o modo que a rede opera no decorrer do tempo. Esse mecanismo foi utilizado para estabelecer o horário de funcionamento da bomba responsável pelo abastecimento dos reservatórios de distribuição do Balneário Rincão, visto que esta opera somente três horas por dia, conforme Figura 3.6.

```
LINK B4 CLOSED AT CLOCKTIME 0.0 AM
LINK B4 OPEN AT CLOCKTIME 7.5 AM
LINK B4 CLOSED AT CLOCKTIME 8.5 AM

LINK B4 OPEN AT CLOCKTIME 12.5 PM
LINK B4 CLOSED AT CLOCKTIME 1.5 PM

LINK B4 OPEN AT CLOCKTIME 4.5 PM
LINK B4 CLOSED AT CLOCKTIME 5.5 PM
```

Figura 3.6 – Editor de Controle Simples.

Observa-se que o editor permite que a bomba seja fechada e aberta de acordo com o seu horário de funcionamento real.

3.4 Simulações Hidráulicas

Para iniciar as simulações foram estabelecidos alguns critérios, tais como:

Hidráulica:

- Unidade de vazão: LPS (litros por segundo);
- Fórmula da perda de carga: H-W (Hazen-Williams);
- Rugosidade da tubulação (C): 100.

Tempo:

- Duração total da simulação: 24 horas;
- Passo de tempo padrão: 1 hora.

Energia:

- Rendimento de bombeamento: 50%;
- Preço do kWh: Fora de ponta: R\$ 0.15293;
Ponta: 0.77716.

No mês de Outubro, após serem inseridos todos os parâmetros no modelo, foram realizadas diversas simulações com o objetivo de compreender melhor o modelo matemático, bem como verificar se os dados hidráulicos fornecidos como respostas das simulações eram compatíveis com os dados reais da rede. Após muitas tentativas e ajustes, o modelo demonstrou um funcionamento similar ao sistema de abastecimento real.

Com o cenário construído, a duração total da simulação foi estendida para um mês (720 horas), visando analisar o comportamento do mesmo durante todo um mês, procedimento concluído com sucesso.

3.5 Modificações no Modelo

Após serem finalizadas as análises energéticas do modelo construído, foram realizadas inúmeras simulações através de situações criadas sobre o sistema original, visando analisar o comportamento energético do mesmo. Essas modificações foram feitas sobre o valor das tarifas, rendimento e horário de funcionamento dos conjuntos motobombas, população flutuante, além de realizar simulações considerando vazamentos nos nós de demanda.

3.5.1 Alteração no Valor das Tarifas

A primeira alteração realizada no modelo teve como objetivo verificar o seu funcionamento energético, diante da mudança nos valores das tarifas. No primeiro momento efetivou-se uma simulação utilizando os valores referentes à estrutura tarifária B3, na qual ocorre a cobrança de R\$ 0.30604 por kWh, como se pode

observar na Figura 3.7. Dando seqüência ao trabalho, aplicou-se a modalidade atualmente praticada na empresa, horo-sazonal verde, onde existem diferenças tarifárias de acordo com o horário de consumo. Para isso, utilizou-se a opção padrão fazendo variar o fator multiplicativo entre os horários de ponta e fora de ponta, como já foi mostrado no item 3.3.2.2 (padrão).

Propriedade	Valor
Rendimento de Bombeamento (%)	50
Preço do kWh	0.30604
Padrão de Preço	
Tarifa de Consumo Máximo	0

Figura 3.7 – Opções de Energia.

3.5.2 Alteração no Rendimento das Bombas

Com o intuito de analisar a influência do rendimento nos custos energéticos dos conjuntos motobombas, aplicaram-se diferentes percentagens de rendimento no modelo matemático.

3.5.3 Alteração no Horário de Funcionamento das Bombas

Para analisar o impacto causado pela tarifa cobrada no horário de ponta no sistema, foram feitas modificações no horário de funcionamento da bomba B4, responsável pelo abastecimento do Balneário Rincão.

3.5.4 Alteração da População Atendida

Para verificar o comportamento do sistema com um aumento populacional no Distrito de Balneário Rincão, considerou-se uma população de 44.000 habitantes, o que corresponde a um valor oito vezes maior que a situação atual. Esse acréscimo pode representar, por exemplo, o número de habitantes atendidos na temporada de Verão.

3.5.5 Inclusão de Vazamentos

Finalizando as modificações no modelo, foram adotadas porcentagens de vazamentos nos nós de demanda do sistema, caracterizando as perdas físicas. No primeiro momento adotou-se um vazamento de 10% nos nós correspondentes à demanda do Balneário Rincão. Também foram simulados vazamentos de 20, 25 e 30%.

3.6 Cálculo do Consumo Per Capta

Dados obtidos através da relação cadastral de usuários do SAMAE Içara mostram que entre os meses de Abril e Setembro o consumo médio mensal do Distrito é de 21.683,33 m³/ mês. Deste total consumido mensalmente, 7.902,17 m³ são utilizados pelos 1.815 habitantes dos Bairros Balneário Rincão Norte e Central, e 13.781,17 m³ pelo Bairro Balneário Rincão Sul, onde residem 3.185 moradores.

Tendo em mãos estes dados, pôde-se fazer uma estimativa do consumo per capita do Balneário Rincão, que caracteriza um objetivo secundário deste trabalho. Para tal, foi necessário dividir o volume consumido no determinado período, fornecido pelos micromedidores residenciais, pelo número de habitantes que utilizaram esse consumo.

Cabe ressaltar que os dados referentes ao número de ligações ativas e de economias, listados na relação cadastral dos usuários do SAMAE Içara, não foram usados neste trabalho nem mesmo para se estimar a população, devido à imprecisão dos mesmos. Essa imprecisão ocorre pelo fato de que a maioria da população que utiliza os serviços de abastecimento de água durante o verão, e não reside no Balneário Rincão, não solicita ao SAMAE Içara a desativação de suas ligações de água. Sendo assim, o número de ligações ativas que efetivamente consomem água fora da alta temporada de verão é muito inferior ao número de ligações ativas registradas na relação cadastral. Sendo assim, os dados populacionais foram obtidos através da Secretária de Saúde do Município de Içara, que contabiliza a população através dos agentes comunitários de saúde, que ao realizarem seu atendimento registram a quantidade de residências atendidas e habitantes que residem nas mesmas. Considerando que o período analisado é pequeno, assim como o número de habitantes da região em estudo, não foi inserido no cálculo do consumo per capita o crescimento populacional ocorrido no período.

Outro aspecto que deve ser observado na análise do consumo per capita, diz respeito ao fato de que existem imprecisões nas medições feitas nos medidores, como a submedição e outras perdas aparentes, fazendo com que o consumo lido seja menor do que o consumo realmente realizado. O consumo per capita efetivo desconsidera essas perdas e, portanto, foi adotado na realização deste trabalho, visto que não existem dados disponíveis referentes às perdas no sistema de abastecimento de água do Distrito de Balneário Rincão.

Na obtenção dos valores referentes ao consumo per capita mensal, primeiro fez-se a conversão do volume micromedido em m^3 para litros e, posteriormente, dividiu-se este valor pelo total de habitantes que consumiram esse volume no mês de referência. Para se chegar ao valor da média do consumo per capita, fez-se o somatório destes consumos mensais, no período de Abril a Setembro, e dividiu-se esse valor pela quantidade de dias presentes nesse período, ou seja, 180 dias.

4. ESTUDO DE CASO E DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO DISTRITO DE BALNEÁRIO RINCÃO

4.1 Localização

Com 12 km de orla marítima, e aproximadamente 200 km distante de Florianópolis, o Distrito de Balneário Rincão tem seu acesso através da BR-101, no km 381. Esse Balneário é parte integrante do Município de Içara, pertencente à microrregião de Criciúma, além de fazer parte da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC). O mesmo encontra-se localizado no Sul do Estado de Santa Catarina, a uma latitude 28°42'48" sul e a uma longitude 49°18'00" oeste, estando a uma altitude de 48 metros.

A Cidade de Içara conta com uma população aproximada de 55.000 habitantes, enquanto que no Balneário Rincão residem 5.500 pessoas, aproximadamente, sendo o Balneário banhado por lagoas e pelo mar.



Figura 4.1 – Localização do Balneário Rincão e Municípios da AMREC. Fonte: Adaptado de: <http://www.sul-sc.com.br/afolha/cidades/amrec.htm>.

4.2 Aspectos Econômicos

A apicultura é a grande atividade econômica de Içara, já que o Município é o maior produtor de mel do Brasil, conferindo ao Município o título de “*Capital Nacional do Mel*”. O cultivo do fumo também merece destaque.

O feijão é uma das principais atividades agrícolas de Içara. Também são importantes a indústria e o comércio, além do turismo. O Município é o maior produtor de descartáveis plásticos da América Latina.

Mais especificamente, o Distrito de Balneário Rincão concentra suas atividades econômicas voltadas para o turismo e o comércio.

4.3 Aspectos Institucionais do Serviço de Abastecimento de Água

O abastecimento de água do Distrito de Balneário Rincão é administrado exclusivamente pelo SAMAE Içara (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Içara), uma autarquia pública de abrangência local com sede e foro no município de Içara. Esse prestador de serviços também atende ao restante do município de Içara, em conjunto com a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

A Lei Nº 2.165, de 25 de Agosto de 2005, sancionada pelo prefeito em exercício naquela data, efetivou a criação do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Içara.

O SAMAE Içara busca permanentemente a satisfação de seus clientes, acionista, fornecedores e colaboradores, na Área de Saneamento Ambiental, tendo como missão dentro de sua política de qualidade:

- Melhoria contínua dos processos;
- Promover o desenvolvimento do Capital Intelectual;
- Cumprimento das normas e disposições legais;
- Respeito ao Meio Ambiente.

4.4 Tarifação de Energia Elétrica

Atualmente o SAMAE Içara recebe energia em média tensão, estando enquadrado na modalidade horo-sazonal verde, subgrupo A4, com uma demanda contratada de 260 kW. Até o mês de Julho de 2007, o prestador de serviços de abastecimento de água encontrava-se enquadrado no subgrupo B3. Essa pequena modificação resultou em ganhos significativos no que diz respeito aos custos com energia elétrica, confirmando que é possível promover a efficientização de energia através de medidas de fácil execução.

Para se ter uma idéia da melhoria energética alcançada, basta comparar as faturas de energia elétrica referentes às duas modalidades citadas, como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Comparativo das Tarifas B3 e A4

Mês	Subgrupo	Horário	Consumo faturado (kWh)	Demanda faturada (kW)	Tarifa	Valor (R\$)	ICMS (R\$)	Total (R\$)
Julho	B3	Único	125.280	0	0.30604	38.340,69	12.780,23	51.132,41
Agosto	A4	Ponta	13.469	267	0.77716	10.467,57	3.489,19	39.294,07
		F. ponta	110.135		0.15293	16.842,95	5.614,32	
		Total	123.604		809.000	2.160,03	720,01	

O conjunto motobomba da captação opera durante 24 horas, bem como aquele que bombeia água para o município de Içara. O bombeamento de água para o Distrito de Balneário Rincão ocorre somente no horário fora de ponta, em três períodos de uma hora cada.

Observando a Tabela 4.1 constatou-se uma diferença de apenas 1,34% no consumo faturado entre os meses de Julho e Agosto, sendo que o decréscimo no custo total de energia elétrica foi de 23,15%. Isso ocorreu pelo fato de que a maior parte do consumo foi realizada no horário fora de ponta, onde a tarifa é praticamente a metade daquela praticada na modalidade B3. Por outro lado, a tarifa atual cobrada no horário de ponta, das 18 às 21 horas, é mais que duas vezes maior do que aquela praticada no mês de Julho, mas a sua influência no custo total acaba sendo pequena pelo fato dos conjuntos motobombas serem pouco utilizados nesse horário.

Cabe ressaltar ainda, que a demanda medida no mês de Agosto (267 kW) foi superior à contratada (260 kW), mas essa demanda de ultrapassagem não implicou em multas por estar dentro dos 10% permitidos. Caso tivesse excedido esse limite, a tarifa aplicada sobre o excesso de demanda faturada teria seu valor triplicado, inclusive sobre os 10% aceitáveis.

4.5 Descrição do Sistema

O Distrito de Balneário Rincão se caracteriza por ser extremamente plano, não exigindo grandes esforços do sistema para vencer desníveis topográficos. O mesmo se caracteriza por ter um consumo restrito ao atendimento residencial, pois não existem indústrias no local.

4.5.1 Captação

A captação é feita na Lagoa do Faxinal, que cobre uma área de 3 km². A água é levada por gravidade até um poço de sucção e, logo após, é bombeada até um reservatório elevado que alimenta o sistema de tratamento. Na época fora da alta temporada de verão a captação de água é feita por um único conjunto motobomba que funciona 24 horas por dia, havendo um segundo de reserva, ambos situados na cota 6,15 metros. Na alta temporada, o sistema conta com dois conjuntos em funcionamento de mesmas características, além de um reserva. O motor tem uma potência de 30 kW, fabricado pela WEG, e opera com uma rotação de 1770 rpm e um rendimento nominal de 91,7%. A bomba hidráulica é da marca KSB, modelo MEGANORM. A mesma possui uma vazão nominal de 324 m³/h e uma altura manométrica de 20 mca.

A altura manométrica de sucção no poço de captação é de 2,40 metros, enquanto que o recalque vence uma altura de 12,0 metros até chegar ao reservatório elevado que alimenta a ETA, distante 45 metros. Esse reservatório circular, situado na cota 8,14 metros, possui um volume de 48 m³ e uma altura útil de 3,5 metros.



Figura 4.2 – Ponto de Captação de Água na Lagoa do Faxinal. Fonte: O Autor.



Figura 4.3 – Sistema de Bombeamento na Captação de Água. Fonte: O Autor.



Figura 4.4 – Conjunto Motobomba em Operação na Captação de Água. Fonte: O Autor.

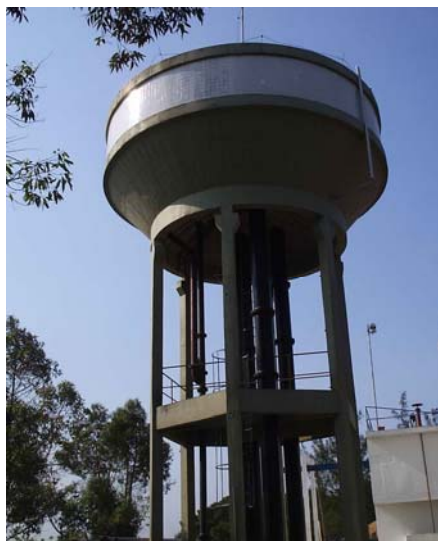


Figura 4.5 – Reservatório Elevado na Captação. Fonte: O Autor.

4.5.2 Tratamento de Água

Na etapa seguinte a água segue 8 metros até a ETA, na cota 8,25 metros, para receber o tratamento. A ETA (Estação de Tratamento de Água) possui uma vazão de projeto de 180 l/s, localizada próxima à estação de bombeamento, e opera através do processo de filtração ascendente rápida, onde ocorre a clarificação (coagulação e filtração), que consiste na retirada de particulados e matéria orgânica através de uma reação química que forma flocos e, posteriormente, ficam retidos nos filtros. Por fim, ocorre o tratamento final (desinfecção, fluoretação e correção de pH), tornando a água potável e viabilizando a sua distribuição para a população.

Após ser tratada, a água tem como destino o reservatório de contato onde ocorrem as reações químicas. O mesmo situa-se na cota 8,20 metros e possui características retangulares, suportando até 294 m³ de água em seus 3,0 metros de altura útil. Deste saem três tubulações, tendo como destino a ERAT (Estação de Recalque de Água Tratada), que fica 11 metros distante da ETA.

4.5.3 Estação de Recalque de Água Tratada

Uma das três tubulações leva a água para um sistema de bombeamento composto por duas bombas de mesmas características que funcionam simultaneamente, abastecendo o município de Içara durante 24 horas. A segunda, objeto de estudo deste trabalho, funciona diariamente 3 horas no horário fora de ponta, transportando a água para um conjunto motobomba que tem como fim o abastecimento de água do Distrito de Balneário Rincão. Esse conjunto, fixado na cota 7,90 metros, é alimentado por um motor com rotação de 1770 rpm, da marca WEG, com um rendimento nominal de 93,5% e 75 kW de potência. A bomba KSB desse conjunto, modelo MEGANORM, possui uma vazão nominal de 387 m³/h e uma altura manométrica de 41,3 mca. O conjunto motobomba reserva possui as mesmas características, tendo como única diferença a marca do motor, Búfalo. Por

último, ocorre o abastecimento do Balneário Barra Velha, por um conjunto motobomba com vazão nominal de 45 m³/h e 45 mca de altura manométrica.



Figura 4.6 - Conjunto Motobomba da Estação de Recalque de Água Tratada - Balneário Rincão. Fonte: O Autor.

A Tabela 4.2 apresenta as características dos conjuntos motobombas de todo o sistema, obtidas através de observações feitas nas placas das bombas em visitas de campo. Ainda está incluso o tempo de operação diária de cada conjunto, expresso em F.P. (fora de ponta) e P. (ponta).

Tabela 4.2 - Características dos Conjuntos Motobombas

	Captação (B1)	Içara (B2A)	Içara (B2B)	Barra Velha (B3)	Rincão (B4)
Vazão (m ³ /h)	324,0	124,0	124,0	45,0	387,0
Altura man. (mca)	20,0	90,0	90,0	45,0	41,2
Potência (kW)	30,0	56,0	56,0	33,5	75,0
Rotação (rpm)	1770	1770	1770	1770	1770
Operação (h/dia)	21 F.P. + 3 P.	21 F.P. + 3 P.	21 F.P. + 3 P.	21 F.P. + 3 P.	3 P.

4.5.4 Armazenamento de Água Tratada

A adutora que abastece o Distrito de Balneário Rincão fornece água para uma população residente de aproximadamente 5.500 habitantes, totalizando 1.850 famílias. O sistema de abastecimento de água do Balneário Rincão conta com dois reservatórios de distribuição, com suas características apresentadas na Tabela 4.3 abaixo. Os bairros atendidos por esta adutora são três: Bairro Balneário Rincão Sul, Norte e Centro. Os Bairros Balneário Rincão Central e Norte têm sua distribuição realizada pelo reservatório R.D.A, apoiado sobre as dunas, enquanto que o Bairro Balneário Rincão Sul é abastecido pelo R.D.E, que é elevado.

Todas as tubulações do sistema em estudo são de ferro fundido, sendo que as presentes até essa etapa possuem 400 mm de diâmetro, exceto na entrada e saída da ERAT, onde os diâmetros são reduzidos para 300 mm, continuando o processo de redução até chegar aos reservatórios de distribuição com 200 mm.

Tabela 4.3 – Características dos Reservatórios de Distribuição

Características	R.D.A	R.D.E
Cota geométrica (m)	6.1	5.3
Cota de fundo (m)	22.1	20.3
Altura útil (m)	5.4	4.0
Volume (m ³)	271.0	113.0
Diâmetro (m)	8.0	6.0



Figura 4.7 – R.D.A. (Reservatório de Distribuição de Água Tratada Apoiado). Fonte: O Autor.



Figura 4.8 – R.D.E. (Reservatório de Distribuição de Água Tratada Elevado). Fonte: O Autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e as discussões deste trabalho foram organizados em duas seções. Na primeira apresentam-se os resultados obtidos através das análises energéticas do modelo construído. Na segunda seção são apresentadas as respostas alcançadas após serem feitas as alterações no modelo.

5.1 Modelo Construído

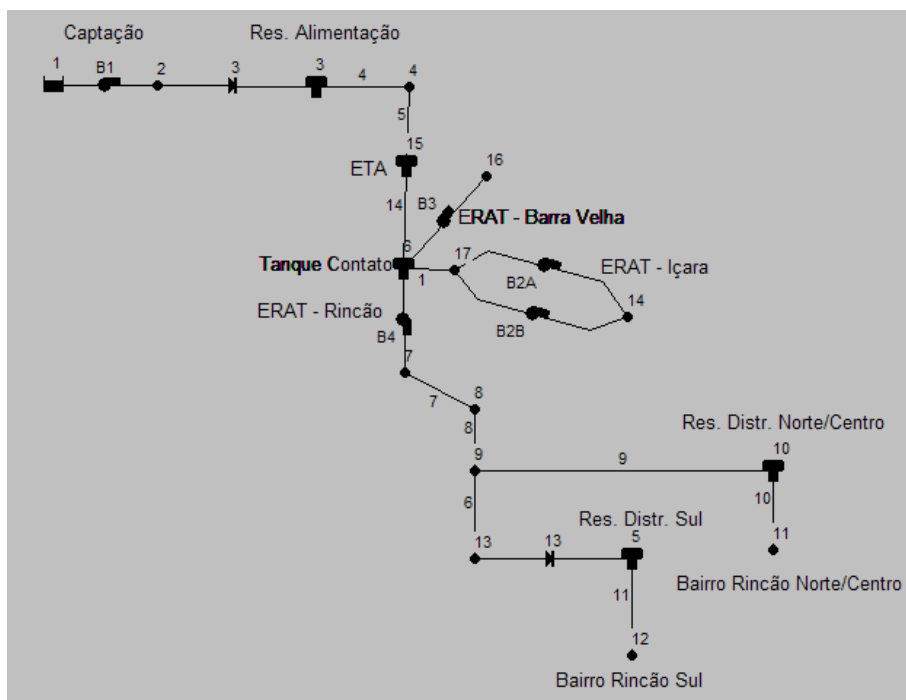


Figura 5.1 - Modelo Construído.

O modelo finalizado apresenta os seguintes componentes, conforme Figura 5.1:

- Número de Nós: 11;
- Número de RNF: 1;
- Número de RNV: 5;
- Número de Tubulações: 12;
- Número de Bombas: 5;
- Número de Válvulas: 2 de retenção

5.2 Resultados da Análise Energética

O resultado das simulações com vistas para a análise energética do sistema, principal objetivo deste estudo, é apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Relatório de Energia

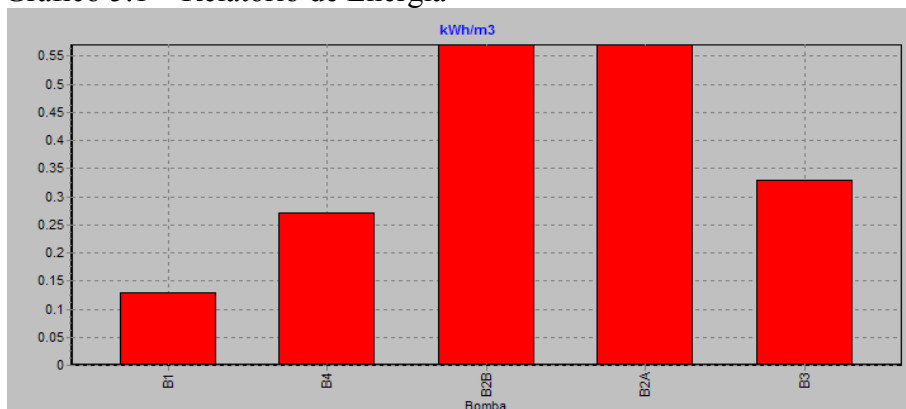
Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B1 Captação	100.00	50.00	0.13	29.94	29.94	165.95
B4 Rincão	12.50	50.00	0.27	73.36	77.08	33.66
B2B Içara	100.00	50.00	0.57	44.33	60.44	266.23
B2A Içara	100.00	50.00	0.57	44.33	60.44	266.23
B3 Barra Velha	100.00	50.00	0.33	1.06	1.64	6.43
Custo Total						738.51

Observando a Tabela 5.1, verifica-se que o sistema de bombeamento em estudo gera um custo diário de energia de R\$ 738,51 ou, R\$ 22.155,30 num mês. Acrescendo o valor cobrado pela demanda, totaliza-se um custo mensal de R\$ 24.310,33.

Como já foi citado, O SAMAE Içara teve um custo energético de R\$ 39.294,07 no mês de Agosto. Abatendo o ICMS, este valor cai para R\$ 29.470,55, incluindo o consumo e a demanda. Portanto, tendo como referência os 24.310,33 reais obtidos na simulação (consumo mais demanda), conclui-se que o sistema de bombeamento representa, neste caso, 82,49% dos custos totais com energia elétrica. Esse resultado se aproxima dos 90% citados por TSUTIYA (2001, *apud* MOREIRA, 2007).

O Gráfico 5.1 mostra que as duas bombas que abastecem o município de Içara são as grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica, seguidas pelo conjunto motobomba B1, utilizado na captação de água. O Balneário Rincão, atendido pela bomba B4, representa um custo de R\$ 33,66 por dia ao SAMAE Içara, sendo que esta bomba opera com a maior potência média e máxima do sistema.

Gráfico 5.1 – Relatório de Energia



5.2.1 Alteração das Tarifas

A modalidade B3 apresentou um custo diário de R\$ 946,32, referente à todo o sistema de bombeamento. Após realizar a simulação para a modalidade A4, obteve-se um decréscimo de 21,96% no custo de energia elétrica, com uma despesa de R\$ 738,51 por dia, conforme Tabela 5.2. Essa diferença alcançada foi praticamente a

mesma ocorrida no sistema real, quando se modificou a estrutura tarifária entre os meses de Julho e Agosto, diminuindo em 23.15% a fatura de energia elétrica.

Tabela 5.2 – Comparativo das Tarifas A4 e B3

Bomba	Custo /dia A4	Custo /dia B3
B1 Captação	165.95	219.93
B4 Rincão	33.66	67.35
B2B Içara	266.23	325.63
B2A Içara	266.23	325.63
B3 Barra Velha	6.43	7.78
Custo Total	738.51	946.32

Essa pequena modificação resultou em ganhos significativos no que diz respeito aos custos com energia elétrica, confirmando que é possível promover a eficiência de energia através de medidas de fácil execução.

5.2.2 Alteração no Rendimento

Uma síntese dos resultados simulados é apresentada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Custos Variáveis com o Rendimento

Rendimento (%)	Custo (R\$/dia)					Total (R\$/dia)	Total (R\$/mês)
	B1	B4	B2B	B2A	B3		
50,0	165,95	33,66	266,23	266,23	6,43	738,51	22.155,30
55,0	150,86	30,60	242,64	242,64	5,85	671,38	20.141,40
75,0	110,63	22,44	177,49	177,49	4,29	492,34	14.770,20
95,0	87,35	17,71	140,13	140,13	3,39	388,70	11.661,00

Observa-se que o aumento do rendimento provoca um decréscimo no custo energético, ou seja, utiliza-se um consumo menor de energia para bombear a mesma quantidade de água. Um acréscimo de apenas 5% no rendimento do conjunto gera uma economia de R\$ 2.013,90 por mês. Um rendimento elevado, na ordem de 75%, resulta num decréscimo energético mensal de R\$7.385,10, se comparado ao rendimento de 50% adotado neste estudo.

Os Gráficos 5.2 e 5.3 mostram um decréscimo significativo ocorrido na relação consumo por metro cúbico bombeado, devido o aumento do rendimento dos conjuntos motobombas.

Gráfico 5.2 – Consumo por Metro Cúbico com Rendimento de 50%

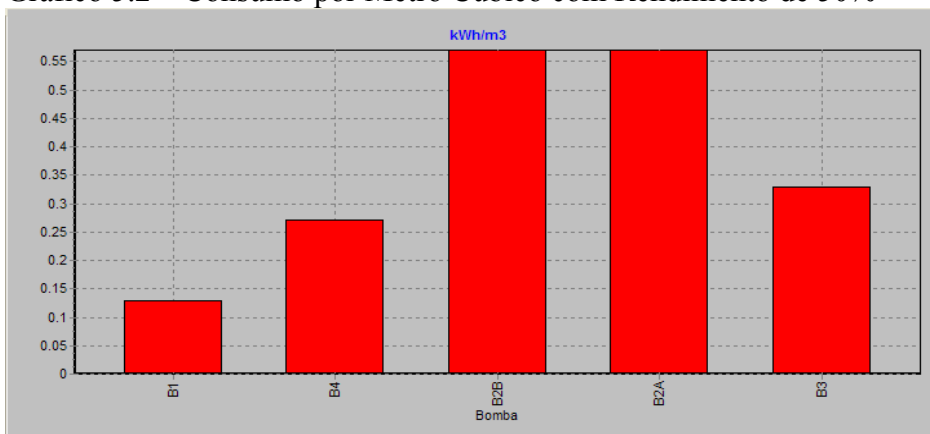
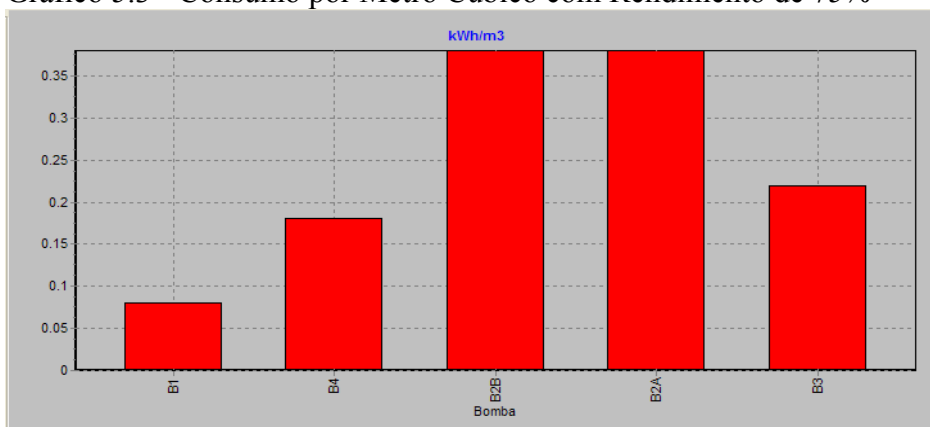


Gráfico 5.3 - Consumo por Metro Cúbico com Rendimento de 75%



5.2.3 Alteração no Horário de Funcionamento

Após serem feitas as modificações no horário de funcionamento da bomba B4, responsável pelo abastecimento do Balneário Rincão, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 5.4, sendo que a opção A se refere ao estado de operação real da bomba B4.

Opção A: três horas fora de ponta;

Opção B: duas horas fora de ponta e uma hora na ponta;

Opção C: uma hora e meia fora de ponta e uma hora e meia na ponta;

Opção D: uma hora fora de ponta e duas horas na ponta.

Tabela 5.4 – Custos Variáveis com o Horário

Bomba	Percentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B4 Opção A	12,50	50,00	0,27	73,36	77,08	33,66
B4 Opção B	12,50	50,00	0,27	74,95	77,03	81,72
B4 Opção C	12,50	50,00	0,27	72,31	78,13	101,67
B4 Opção D	12,50	50,00	0,27	68,74	78,23	113,36

Como se pode observar ocorre um aumento significativo no custo diário de energia quando se utiliza a bomba B4 no horário de ponta. Uma transferência de apenas uma hora do horário fora de ponta para o horário de ponta, opção A e B, resulta num acréscimo diário de R\$ 48,06, totalizando um aumento no custo mensal de R\$ 1.441,80. A diferença de custos entre a opção A e a opção D é de R\$ 79,70 por dia ou, R\$ 2.391,00 no mês. Percebe-se então, que o gerenciamento eficiente do horário de funcionamento dos conjuntos motobombas é indispensável, pois viabiliza ganhos energéticos e financeiros ao sistema.

5.2.4 Alteração na população

Com a população aumentada em oito vezes, a demanda de água passou de 8.35 l/s para 74.0 l/s. Para tal, considero-se um consumo per capita de 145 l/hab.dia e um decréscimo de 14.4 l/s no nó responsável pelo abastecimento de água de Içara, representando aproximadamente o consumo de nove mil habitantes deste município que se deslocam para o Balneário Rincão no Verão.

Após se fazer a distribuição percentual para os dois reservatórios de distribuição, baseada na relação cadastral de usuários dos meses anteriores, obteve-se uma demanda de 47,0 l/s e 27,0 l/s para os nós abastecidos pelo RDE e RDA, respectivamente, onde foi constatado o não funcionamento do modelo. Para resolver esse problema, a bomba B4, que abastece o Balneário durante 3h por dia, teve seu tempo de funcionamento aumentado para 24h, conforme Gráfico 5.4. Com essa medida a simulação foi realizada com sucesso, chegando-se aos valores energéticos apresentados na Tabela 5.5.

Gráfico 5.4 – Variação no Tempo de Funcionamento

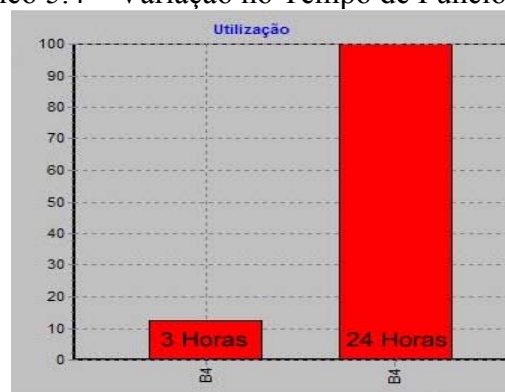


Tabela 5.5 – Custo Energético Variável com a População

Bomba	Custo /dia A	Custo /dia B
B1 Captação	165.95	165.96
B4 Rincão	33.66	338.01
B2B Içara	266.23	198.40
B2A Içara	266.23	198.40
B3 Barra Velha	6.43	6.29
Custo Total	738.51	907.06

Analisando a situação A, onde são atendidos 5.500 habitantes, e comparando com a situação B, apresentada neste capítulo, constatou-se um acréscimo diário de R\$ 168,55 no custo de energia elétrica do sistema, totalizando R\$ 5.056,50 a mais no orçamento mensal.

Como pode ser observado na Tabela 5.5, a bomba B4 passou a ser a responsável pelo maior consumo de energia elétrica, situação antes atribuída às bombas B2B e B2A. Sendo assim, o conjunto motobomba responsável pelo abastecimento do Distrito de Balneário Rincão teve seu custo diário energético aumentado em aproximadamente 904 %, passando de R\$ 33,66 para R\$ 338,01.

5.2.5 Inclusão de vazamentos

No primeiro momento adotou-se um vazamento de 10% nos nós 11 e 12, tendo como resultado uma simulação bem sucedida. Também foram simulados com êxito vazamentos de 20 e 25%. Na tentativa de se utilizar uma porcentagem de vazamento de 30% ocorreu um erro no modelo, conforme Figura 5.2.

```

AVISO: Pressões negativas às 31:29:53 horas.
AVISO: Nó 11 desligado às 31:29:53 horas
AVISO: Sistema desligado devido o Trecho 10
  
```

Figura 5.2 – Relatório de Estado.

A Figura 5.2 apresenta o aviso de erro na simulação em decorrência da pressão negativa no nó 11. Tal fato ocorreu devido à insuficiência de água no reservatório responsável pelo abastecimento desse nó, estando numa altura inferior à altura de lâmina de água mínima para seu funcionamento. Com isso, estima-se que os vazamentos compreendidos entre a ERAT (estação de recalque de água tratada) Rincão e os reservatórios de distribuição de água são inferiores a 30%, visto que um valor superior inviabiliza o funcionamento do sistema.

Quanto à variação do custo energético, pode-se observar um pequeno acréscimo, visto que as alterações tiveram influência somente sobre a bomba B4, que opera apenas três horas por dia, como mostra a Tabela 5.6. Esta tabela é composta por quatro colunas, sendo que a primeira mostra os resultados obtidos sem considerar vazamentos. A segunda, terceira e quarta colunas, apresentam os resultados simulados considerando vazamentos de 10, 20 e 25%, respectivamente.

Tabela 5.6 – Custo Variável com os Vazamentos

Bomba	Custo /dia	Custo /dia	Custo /dia	Custo /dia
B1 Captação	165.95	165.95	165.95	165.95
B4 Rincão	33.66	34.04	34.22	34.24
B2B Içara	266.23	266.23	266.24	266.24
B2A Içara	266.23	266.23	266.24	266.24
B3 Barra Velha	6.43	6.43	6.43	6.43
Custo Total	738.51	738.89	739.07	739.09

5.3 Consumo Per Capita

A Tabela 5.7 mostra o consumo per capita mensal da população atendida pelos dois reservatórios de distribuição

Tabela 5.7 - Consumo Per Capita Mensal.

Mês	Volume Micromedido (m ³)		População (hab.)		Per Capita Mensal (L/hab.mês)	
	R.D.E	R.D.A	R.D.E	R.D.A	R.D.E	R.D.A
Abr./07	15.628	9.185	3.185	1.815	4.906,75	5.060,61
Mai./07	13.371	9.486	3.185	1.815	4.198,12	5.226,45
Jun./07	13.002	7.506	3.185	1.815	4.082,26	4.135,54
Jul./07	10.712	7.489	3.185	1.815	3.363,27	4.126,17
Ago./07	14.520	5.933	3.185	1.815	4.558,87	3.268,87
Set./07	15.454	7.814	3.185	1.815	4.852,12	4.305,23
Total	82.687	47.413			25.961,38	26.122,87
Média do Consumo Per Capita (L/hab.dia)					144,23	145,13

Como se pode observar na Tabela 5.7, a média do consumo per capita dos bairros abastecidos pelos reservatórios R.D.A e R.D.E são praticamente as mesmas, tendo uma pequena diferença de 0,9 L/hab.dia. Aplicando uma média aritmética simples, constatou-se que o consumo per capita do Distrito de Balneário Rincão é de aproximadamente 144,68 L/hab.dia.

Esse valor coincide com o consumo per capita previsto por SPERLING (2005), que sofre uma variação numa faixa de 100 a 160 l/s para uma população de até 10.000 habitantes.

O resultado obtido representa muito bem a média per capita do País, que segundo MCIDADES.SNSA (2006), foi de 145,7 L/hab.dia no ano de 2005. Além disso, se enquadra na faixa de valores observados na maior parte do território brasileiro, compreendidos entre 100.1 e 150 l/hab.dia. Portanto, a metodologia utilizada para alcançar esse objetivo secundário mostrou-se eficiente.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade cada vez maior dos sistemas de abastecimento de água torna indispensável a utilização de ferramentas de apoio capazes de fornecer maior controle operacional e confiabilidade hidráulica e energética, como é o caso dos simuladores hidráulicos.

O modelo matemático utilizado neste trabalho apresentou uma boa eficiência pelo fato de ter representado características similares ao sistema de abastecimento real. Com uma boa dedicação e leitura a modelagem matemática via EPANET 2 se mostrou viável, podendo ser utilizada tanto por pessoas envolvidas no meio acadêmico quanto por profissionais de empresas. Ressalta-se ainda que o mesmo é um software de domínio público e muito bem estruturado, podendo ser copiado e distribuído livremente.

Os resultados obtidos através das inúmeras simulações hidráulicas realizadas demonstraram a sensibilidade do modelo, visto que a maioria das modificações feitas propiciou alterações energéticas no sistema. O modelo construído apresentou um custo diário de energia de R\$ 738,51 ou, R\$ 22.155,30 num mês, resultante da utilização do sistema de bombeamento. Este valor representa 82,49% dos custos totais gastos com energia elétrica na empresa. Conclui-se também que o Balneário Rincão, atendido pela bomba B4, representa um custo de R\$ 33,66 por dia ao SAMAE Içara.

Dentre as mudanças propostas com o intuito de se obter ganhos energéticos e financeiros destaca-se uma de simples execução: a substituição da tarifa B3 pela A4, ação responsável por um decréscimo de aproximadamente 23% nos custos energéticos da empresa. Outra medida fácil de ser executada e simulada no modelo é o planejamento do horário de funcionamento das bombas, visando o consumo de energia nos horários fora de ponta. Considerando as atitudes voltadas para a manutenção, constatou-se que uma melhora de apenas 5% no rendimento dos conjuntos motobombas resultou num decréscimo mensal de R\$ 2.013,90. Outro tema abordado e simulado neste trabalho, também relacionado à manutenção, foram os vazamentos existentes no sistema. Na tentativa de se utilizar uma porcentagem de vazamento na ordem de 30% ocorreu um erro no modelo, possibilitando estimar que os vazamentos compreendidos entre a ERAT Rincão e os reservatórios de distribuição de água são inferiores a 30%, visto que um valor superior inviabilizaria o funcionamento do sistema. Por último fez-se um estudo com o objetivo de se estimar o consumo per capita da população residente no Balneário Rincão, chegando-se a um valor médio de 144,68 L/hab.dia, representando muito bem a média per capita do País, que foi de 145,7 L/hab.dia no ano de 2005.

Portanto, nota-se a importância desta tecnologia no desenvolvimento de novos projetos ou ampliações, haja vista os ganhos econômicos e ambientais que podem ser obtidos, ou, os custos que podem ser evitados. Entretanto, é necessário que haja um maior comprometimento das autoridades e que se façam investimentos no setor, disponibilizando recursos financeiros para a elaboração e compra de

tecnologias inovadoras, treinamentos de funcionários e aquisição de materiais de boa qualidade, evitando assim, o desperdício de água tratada, dinheiro e tempo.

A sustentabilidade hidráulica e energética dos sistemas de abastecimento de água depende de todos os setores da sociedade, incluindo os trabalhadores, prestadores de serviços, governo e a população em geral. As ações de efficientização podem ser realizadas tanto pelo lado da demanda quanto pelo lado da oferta, sendo viabilizadas por um planejamento e gestão adequados.

Por último, ressalta-se a importância relacionada à universalização dos serviços de abastecimento de água, proporcionando a preservação do meio ambiente e promovendo a saúde de todos os cidadãos.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) (2000). *Resolução n.º 456, de 29 de Novembro de 2000*. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.
- ALLIANCE (2002). Aliança para Conservação de Energia. *Água e Energia: Aproveitando as Oportunidades de Eficientização de Água e Energia Não Exploradas nos Sistemas de Água Municipais*. 158 p. Washington, DC, 2002.
- BRASIL.MME.EPE (2006). *Balanço Energético Nacional 2005.*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: http://ben.epe.gov.br/BEN2006_default.aspx.
- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. Brasília (2007). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LeisLEIS_2001/L10295.htm.
- CARRIJO, I. B. (2004). *Extração de Regras Operacionais Ótimas de Sistemas de Distribuição de Água Através de Algoritmos Genéticos Multiobjetivo e Aprendizado de Máquina*. São Carlos, 2004. 271 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- CARRIJO, I. B. et al. (2003). *Otimização da Operação de Sistemas de Distribuição de Água Utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivo*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Brasil. CD-Rom. 12 p. Novembro, 2003.
- DIÁRIO REGIONAL SINOP (2007). In: *III Seminário Regional de Recursos Hídricos - Região Hidrográfica do Alto Paraguai e Planalto do Pantanal*. Projeto Eficiência Energética, Setembro de 2007.
- ELETROBRÁS. PROCEL (2003). Casos de Sucesso. Disponível em: <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp?ViewID={27A9E152-5CB24DD2-86F8-C3E4A0076429}>.
- ELETROBRÁS. PROCEL (2005a). *Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Ano xvii, n.72, Setembro de 2005.
- ELETROBRÁS. PROCEL (2005b). *Manual Prático: Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento*. 103 p. Rio de Janeiro - RJ, 2005.
- ELETROBRÁS.PROCEL. Disponível em: <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp?ViewID={974CF275-82FE-4483-8551-855F9A98A370}>.
- ELETROBRÁS. PROCEL. Rio de Janeiro (2007). Disponível em: <http://www.eletrabras.com/procel>.

- ELETROBRÁS. PROCELINFO. Rio de Janeiro (2007). Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>.
- GUMIER, C. C.; LUVIZOTTO JR, E. (2007). *Aplicação de Modelo de Simulação-Otimização na Gestão de Perda de Água em Sistemas de Abastecimento*. Artigo Técnico, V. 12, n. 1, p. 32, Rio de Janeiro, Janeiro/Março de 2007.
- IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>
- IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD (2001). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2001/coment2001.shtm>.
- INMETRO. PBE. Rio de Janeiro (2007). Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>.
- KURAHASSI, L. F.; (2006). *Gestão da Energia Elétrica – Bases para uma Política Pública Municipal*. São Paulo. 267 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.
- MCIDADES. SNSA (2004a). *Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)*. Documento Técnico de Apoio A2: Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água. 80 p. Brasília, DF, Brasil.
- MCIDADES. SNSA (2004b). *Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)*. Documento Técnico de Apoio C2: Panorama dos Sistemas Públicos de Abastecimento no País. 72 p. Brasília, DF, Brasil.
- MCIDADES. SNSA (2005a). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Visão Geral da Prestação dos Serviços de Água e Esgotos – 2004*. Brasília, DF, Brasil.
- MCIDADES. SNSA (2005b). *Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)*. Documento Técnico de Apoio G5: Guia Prático da Conta de Energia Elétrica no Saneamento, 2005. Brasília, DF, Brasil.
- MCIDADES. SNSA (2006). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Parte 1: Visão Geral da Prestação dos Serviços de Água e Esgotos – 2005*. Brasília, DF, Brasil.
- MINISTÉRIO do PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO e GESTÃO (2007). Disponível em: http://www.planejamento.gov.br/noticias/conteudo/noticias_2007/070122_pac.htm.

- MONTENEGRO, L. L. B. et. al. (2007). *Estudo de Viabilidade Econômica para Melhorar a Eficiência Energética e Hidráulica do Sistema de Adução de Água de Campina Grande, PB, Brasil*. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Artigo Técnico, 9 p. Belo Horizonte - MG, Setembro, 2007.
- MOREIRA, M. A. R. G.; (2006). *Potencial de Mercado de Eficiência Energética no Setor de Água e Esgoto no Brasil – Avaliação de Estratégias Segundo o Modelo de Porter*. Rio de Janeiro, RJ. 280 p. Dissertação (Mestrado) – Programas de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MOREIRA, M. A. R. G. et al. (2007). *A Implementação da Lei de Eficiência Energética 10.295/2001: A Situação dos Motores Elétricos e dos Conjuntos Motobomba Monobloco Trifásicos*. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Artigo Técnico, 13 p. Belo Horizonte - MG, Setembro, 2007.
- OTERO, O. L. C.; COURA. S. P.; GOMES. A. S. (2007). *Método Expedido para Avaliação de Desempenho de Conjuntos Motobombas*. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Artigo Técnico, 12 p. Belo Horizonte - MG, Setembro, 2007.
- ROSSMAN, L. A. (2000). *EPANET 2 user's Manual*. U. S Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.
- SANEAMENTO AMBIENTAL (2007a). Revista ano xvii, n. 128, edição especial, 82 p. Signus Editora, São Paulo – SP, Julho de 2007.
- SANEAMENTO AMBIENTAL (2007b). Revista ano xvii, n. 125, p. 20-23. Signus Editora, São Paulo – SP, Janeiro/Fevereiro, 2007.
- SECRETARIA ESPECIAL de DESENVOLVIMENTO URBANO - Secretaria de Política Urbana (1999). *Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)*. Documento Técnico de Apoio C3: Medidas de Redução de Perdas-Elementos Para Planejamento. 31 p. Brasília, DF, Brasil.
- SOARES, A. K.; (2003). *Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água para Abastecimento Considerando Vazamentos e Demandas Dirigidas pela Pressão*. São Carlos. 153 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.
- VICENTE, R. V.; (2006). *Modelo de Operação para Centros de Controle de Sistema de Abastecimento de Água. Estudo de Caso: Sistema Adutor / R.V*. São Paulo. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

SPERLING, M. V.; (2005). *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 3. ed. 452 p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.