



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
CIVIL – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO E DOUTORADO - ÁREA  
DE CONCENTRAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

## DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

### MODELO COMPUTACIONAL PARA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS COM MÚLTIPLOS USOS

ARQUIMEDES PARENTE PAIVA MORORÓ

RECIFE - PE  
ABRIL - 2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

# **MODELO COMPUTACIONAL PARA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS COM MÚLTIPLOS USOS**

por

Arquimedes Parente Paiva Mororó

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de Concentração:** Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

**Orientador:** José Roberto G. de Azevedo.

Recife, 14 de abril.

Departamento de Engenharia Civil da UFPE  
2005

**M868m**

**Mororó, Arquimedes Parente Paiva.**

Modelo computacional para operação de reservatórios com múltiplos usos / Arquimedes Parente Paiva. - Recife : O Autor, 2005.

xvii, 210p. : il. ; fig.; tab. fig.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2005.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Reservatórios – modelo de simulação. 2. Águas de reservatórios – usos múltiplos. 3. Barragem de Sobradinho (Bahia) - Análise das águas . 4. Engenharia civil – recursos hídricos I. Título.

624.1 CDD(22.ed.)

UFPE  
**BCTG/2005-37**

# MODELO COMPUTACIONAL PARA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS COM MÚLTIPLOS USOS

por

**Arquimedes Parente Paiva Mororó**

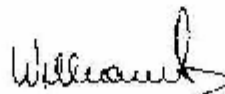
Dissertação defendida e aprovada em abril de 2005 pela banca examinadora  
constituída pelos professores doutores abaixo assinados:



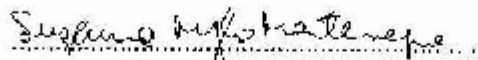
.....  
José Roberto G. de Azevedo  
Orientador



.....  
Abelardo Antônio de Assunção Montenegro  
Examinador



.....  
William Severi  
Examinador



.....  
Suzana Maria Gico Lima Montenegro  
Examinadora

Recife, abril de 2005

“Meu Deus escolho tudo. Não quero ser santa pela metade. Não me faz medo sofrer por vós, a única coisa que me dá receio é a de ficar com minha vontade. Tomai-a vós, pois escolho tudo o que vós quiserdes”.

Santa Teresa do Menino Jesus e da Sagrada Face do livro: História de uma Alma.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS, pelo conforto, paz, coragem e saúde concedida durante os momentos em que a ele recorri.

Aos meus pais, Antônio Mauro Paiva Mororó e Antônia Magali Parente Paiva, pelo valioso exemplo de obstinação pela vida e amor familiar.

Com amor, a Fabiana Lyra Mororó, pelo companheirismo, dedicação, amizade e apoio em todos os momentos de nossa convivência harmoniosa e meus filhos José Mauro, Maria Carolina e Felipe Lyra e a toda minha família e as pessoas que de alguma forma contribuíram ou participaram dessa longa caminhada.

Especialmente, ao Professor José Roberto Azevedo, pela oportunidade de trabalhar com ele e pelo grande exemplo de dedicação e sabedoria, e ao Professor William Severi, pelo apoio de suas importantes contribuições.

Ao grande amigo, Valmir Marques, pelo exemplo de intelectualidade e inteligência, dedicação, companheirismo e comportamento resolutivo, que tanto contribuiu e me apoiou nos grandes momentos de decisões.

A todos os colegas e amigos de trabalho da Superintendência de Comercialização e Operação e da DORH - Divisão de Gestão de Recursos Hídricos da Chesf pela amizade e boa vontade em ensinar e ajudar, dando assim todo o apoio técnico necessário para a conclusão desse trabalho.

Aos engenheiros e colegas de trabalho, Alexander Max e Sonáli Cavalcanti, pela ajuda no desenvolvimento de alguns trabalhos e pelos bons momentos de descontração.

Aos colegas de trabalho, que com grande esforço e dedicação, ajudaram-me na coleta dos dados de campo: Arnaldo Lopes, Carine Antunes e Sheila Santos e à FADURPE - Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional.

À Coordenação do Mestrado em Engenharia Civil, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e aos demais professores que compõem o grupo de pós-graduação em engenharia civil.

Ao colega Alexandre Souza, da Phd Soluções em Softwares, pelo bom humor, amizade e competência técnica, qualidades sempre presentes, durante todo o desenvolvimento dos trabalhos.

## SUMÁRIO

---

---

	Página
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	i
<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	x
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	xii
<b>RESUMO</b>	xvi
<b>ABSTRACT</b>	xvii

### CAPÍTULO 01

---

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1	<b>APRESENTAÇÃO DO TEMA DA DISSERTAÇÃO</b>	1
1.2	<b>OBJETIVOS</b>	3
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	<b>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO</b>	4

### CAPÍTULO 02

---

---

<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	5
2.1	<b>CARACTERÍSTICAS DOS EMPREENDIMENTOS</b>	5
2.1.1	Usina Hidrelétrica de Três Marias	7
2.1.2	Usina Hidrelétrica de Sobradinho	7
2.1.3	Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga (Itaparica)	8
2.1.4	Usina Hidrelétrica de Apolônio Sales (Moxotó)	9
2.1.5	Usinas Hidrelétricas de Paulo Afonso I, II e III	9
2.1.6	Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso IV	10
2.1.7	Usina Hidrelétrica de Xingó	11
2.1.8	Usina Hidrelétrica de Boa Esperança	11
2.1.9	Usina Hidrelétrica da Pedra	12
2.1.10	Usina Hidrelétrica de Funil	13
2.1.11	Usina Hidrelétrica de Araras	13
2.1.12	Usina Hidrelétrica de Curemas	14
2.1.13	Usina Hidrelétrica Piloto	14
2.1.14	Usina Termoelétrica de Camaçari	15
2.1.15	Usina Termoelétrica do Bongí	15
2.1.16	Usina Hidroelétrica de Serra da Mesa	15
2.1.17	Usina Hidroelétrica de Cana Brava	16



2.1.18	Usina Hidroelétrica de Lajeado	16
2.1.19	Usina Hidroelétrica de Tucuruí	17
2.2	<b>BACIAS HIDROGRÁFICAS</b>	18
2.2.1	Região Hidrográfica do São Francisco	18
2.2.2	Região Hidrográfica do Parnaíba	20
2.2.3	Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia	22
2.2.4	Região Hidrográfica Atlântico Leste	23
2.3	<b>USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS</b>	24
2.3.1	Tipos e Formas de Usos dos Recursos Hídricos	25
2.3.2	Conflitos de Usos dos Recursos Hídricos	27
2.3.3	Leis e Decretos	31
2.3.4	Proposição de Modelos	34
2.4	<b>MODELOS ANALISADOS</b>	35
2.4.1	Modelo SIMONE	38
2.4.2	Modelo NEWAVE	40
2.4.3	Modelo DECOMP	42
2.4.4	Modelo SUIISHI	43
2.5	<b>PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	46
2.6	<b>CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS</b>	47
2.7	<b>VARIAÇÃO DA QUALIDADE E QUANTIDADE DA ÁGUA</b>	48
2.8	<b>PROBLEMAS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	49
2.9	<b>FATORES FÍSICO - QUÍMICOS DE QUALIDADE DE ÁGUA</b>	52
2.9.1	Temperatura	52
2.9.2	Potencial Hidrogeniônico (pH)	52
2.9.3	Alcalinidade	53
2.9.4	Dureza	53
2.9.5	Cloretos	54
2.9.6	Nitrogênio	54
2.9.7	Fósforo	55
2.9.8	Oxigênio Dissolvido	56
2.9.9	Condutividade Elétrica	56
2.9.10	Transparência	57
2.9.11	Clorofila	57

## **CAPÍTULO 03**

---

<b>3</b>	<b>PROPOSTA METODOLÓGICA</b>	58
3.1	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	58
3.2	<b>SUB-ROTINAS DO MODELO SELECIONADO</b>	60
3.2.1	Fluxogramas	60
3.2.2	Funcionalidades do Modelo	63

<b>3.3</b>	<b>IMPLEMENTAÇÕES NO MODELO</b>	<b>66</b>
<b>3.4</b>	<b>DADOS NECESSÁRIOS À APLICAÇÃO DO MODELO</b>	<b>70</b>
3.4.1	Histórico dos Usos Consultivos	70
3.4.2	Estimativa das Séries de Vazões para Irrigação	71
3.4.3	Estimativa das Séries de Vazões para Abastecimento Urbano	78
3.4.4	Estimativa das Séries de Vazões para Abastecimento Rural	85
3.4.5	Estimativa das Séries de Vazões para Criação Animal	87
3.4.6	Estimativa das Séries de Vazões para Abastecimento Industrial	90
3.4.7	Estimativa das Séries de Vazões para as Demais Bacias de Interesse	93
3.4.8	Levantamento dos Usuários do Reservatório de Sobradinho	101
3.4.9	Cálculo das Séries de Vazões Naturais e Incrementais	106
3.4.9.1	Cálculo das vazões afluentes aos reservatórios	106
3.4.9.2	Cálculo das vazões incrementais de cada aproveitamento	107
3.4.9.3	Propagação de vazões entre aproveitamentos	108
3.4.9.4	Reconstituição de vazões naturais nos locais de interesse do SIN	108
3.4.10	Regras de Operação da Cascata	109
3.4.11	Cálculo dos Vetores de Evaporação	111
<b>3.5</b>	<b>COLETA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	<b>113</b>
3.5.1	Metodologia de Trabalho na Coleta de Dados	113
<b>3.6</b>	<b>METODOLOGIA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES</b>	<b>116</b>
3.6.1	Solução Inicial	116
3.6.2	Utilização de Curvas-Guia	117
3.6.3	Eliminação de Déficits	118
3.6.4	Redução na Geração	118
3.6.5	Limites da Vazão Turbinada	118
3.6.6	Disponibilidade de Potência	120
3.6.7	Cota do Canal de Fuga Médio Mensal	121
3.6.8	Queda Líquida	122
3.6.9	Produtividade Média Mensal ou Semanal	123
3.6.10	Energia Gerada	124
3.6.11	Energia Vertida	124
3.6.12	Energia Natural Afluente	125
3.6.13	Energia Armazenada	126
3.6.14	Disponibilidade de Potência no Mês ou Semana	127
3.6.15	Vazão Evaporada	127
<b>3.7</b>	<b>APLICAÇÕES DO MODELO SIMONE MODIFICADO</b>	<b>128</b>
3.7.1	Descrição Geral do Modelo SIMONE Modificado	129
3.7.2	Atores Cadastrados no Novo Modelo	130
3.7.3	Cadastro de Dados Operacionais	130

## **CAPÍTULO 04**

---

---

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	155
4.1	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	155
4.1.1	Temperatura	158
4.1.2	Oxigênio Dissolvido (OD)	159
4.1.3	Potencial Hidrogeniônico (pH)	162
4.1.4	Nitrogênio Dissolvido (Amônia / Nitrito / Nitrato)	164
4.1.5	Fosfato Inorgânico	167
4.1.6	Transparência	169
4.1.7	Alcalinidade	171
4.1.8	Clorofila	172
4.1.9	Cloreto	174
4.1.10	Condutividade e Dureza	176
4.1.11	Resumo das Análises	178
4.2	<b>APLICAÇÕES E RESULTADO DO MODELO SIMONE MODIFICADO</b>	180
4.2.1	Verificação das Pendências dos Dados para Simulação e Relatório de Saída dos Resultados	180

## **CAPÍTULO 05**

---

---

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	187
----------	-------------------	-----

## **CAPÍTULO 06**

---

---

<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	191
----------	----------------------	-----

## **CAPÍTULO 07**

---

---

<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	193
----------	-----------------------------------	-----

## **CAPÍTULO 08**

---

---

<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	198
8.1	<b>LISTA DE SUB-ROTINAS DO PROGRAMA SIMONE</b>	198
8.2	<b>RESTRICÇÕES HIDRÁULICAS DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS</b>	200
8.2.1	Sistema Nordeste	200
8.2.2	Sistema Norte	204
8.3	<b>GLOSSÁRIO</b>	206

## LISTA DE FIGURAS

---

	Página
Figura 2.1 - Mapa com a localização das bacias hidrográficas do País.	18
Figura 2.2 - Processo de decisão para sistemas hidrotérmicos.	36
Figura 3.1 - Mapa do sistema interligado entre as regiões do Brasil, destacando as principais bacias hidrográficas que contribuem com o atendimento ao mercado consumidor de energia.	58
Figura 3.2 - Diagrama esquemático das usinas hidroelétricas da área em estudo.	59
Figura 3.3 - Fluxograma geral do modelo SIMONE.	61
Figura 3.4 - Fluxograma detalhado do modelo SIMONE.	62
Figura 3.5 - Rotina de execução considerando a produtividade das usinas.	66
Figura 3.6 - Rotina de execução considerando a retirada de água dos diversos usuários.	67
Figura 3.7 - Rotina de execução considerando pontos de lançamentos de efluentes.	67
Figura 3.8 - Rotina de execução considerando os pontos de captação dos diversos usuários.	68
Figura 3.9 - Rotina de execução considerando aspectos qualitativos referente aos limites estabelecidos pelo CONAMA.	69
Figura 3.10 - Rotina de execução considerando uma visualização e impressão gráfica das variações temporais.	70
Figura 3.11 - Histórico de usos consuntivos de irrigação na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.	78

Figura 3.12 - Histórico de usos consuntivos de abastecimento urbano na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.	84
Figura 3.13 - Histórico de usos consuntivos de abastecimento rural na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.	87
Figura 3.14 - Histórico de usos consuntivos de abastecimento animal na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.	89
Figura 3.15 - Histórico de usos consuntivos de abastecimento industrial na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.	93
Figura 3.16 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Boa Esperança.	96
Figura 3.17 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Boa Esperança sem considerar a retirada por irrigação.	96
Figura 3.18 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Pedra.	98
Figura 3.19 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Pedra sem considerar a retirada por irrigação.	98
Figura 3.20 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Funil.	100
Figura 3.21 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Funil sem considerar a retirada por irrigação.	100
Figura 3.22 - Imagem do Satélite Landsat TM -7, na região do reservatório de Sobradinho, contendo a localização dos usuários e a sobreposição dos espelhos d'água nos anos de 2001 e 2004.	103
Figura 3.23 - Captações localizadas no reservatório da usina de Sobradinho. (A) projeto Barra da Cruz; (B) projeto Nilo Coelho e (C) projeto Recreio.	104
Figura 3.24 - Imagem do Satélite Landsat TM -7, na região do reservatório de Sobradinho, nos trechos: lótico, transição e lêntico a localização dos 22 (vinte e duas) estações no ano de 2004.	114

Figura 3.25 - Coletas de amostras de água no reservatório de Sobradinho. Determinação analítica <i>in situ</i> (A) e coleta de amostra de água (B).	115
Figura 3.26 - Tela de acesso ao modelo SIMONE.	129
Figura 3.27 - Telas de cadastro de sistema elétrico.	131
Figura 3.28 - Telas de cadastro dos Postos Limnimétricos.	132
Figura 3.29 - Telas de cadastro de tipo de curva.	133
Figura 3.30 - Tela de acesso ao cadastro de usinas elétricas.	134
Figura 3.31 - Tela de entrada para a inclusão dos dados cadastrais das usinas elétricas.	135
Figura 3.32 - Telas de entrada para a inclusão dos dados conjuntos de máquinas das usinas elétricas do tipo reservatório.	136
Figura 3.33 - Telas de cadastro das curvas-chave das usinas hidrelétricas.	137
Figura 3.34 - Telas de cadastro curvas dos fatores de qualidade de água de reservatórios.	138
Figura 3.35 - Telas de cadastro dos coeficientes de evaporação.	139
Figura 3.36 - Telas de acesso aos dados de vazões naturais e incrementais.	140
Figura 3.37 - Tela contendo as informações de vazões naturais e incrementais.	141
Figura 3.38 - Telas contendo as informações de usuários de reservatórios.	142
Figura 3.39 - Tela de pesquisa das simulações existentes.	143
Figura 3.40 - Tela inicial para consultar, alterar ou excluir uma simulação. Lista das simulações existentes (A) e Lista dos dados de entrada para uma simulação (B).	144
Figura 3.41 - Telas de entrada de dados para a realização de uma simulação.	145
Figura 3.42 - Tela de escolha do sistema elétrico.	146

Figura 3.43 - Tela de definição do tipo de configuração das usinas.	146
Figura 3.44 - Tela de definição do tipo de dados utilizados para as vazões afluentes aos reservatórios e definição de consideração dos limites máximos e mínimos.	147
Figura 3.45 - Tela de entrada de dados das demandas dos sistemas elétricos.	148
Figura 3.46 - Tela de entrada de dados dos limites de intercâmbio.	149
Figura 3.47 - Telas de entrada de limites de geração.	150
Figura 3.48 - Tela de entrada dos percentuais iniciais dos volumes úteis.	151
Figura 3.49 - Tela de entrada com a composição das defluências para períodos anteriores.	151
Figura 3.50 - Telas de entrada dos limites de vazões e modo de operação das curvas-guia.	152
Figura 3.51 - Telas de entrada da composição das curvas-guia.	153
Figura 3.52 - Tela de entrada dos valores de vazões afluentes as usinas hidroelétricas.	154
Figura 4.1 - Gráficos de dispersão entre as grandezas: cota média e o parâmetro oxigênio dissolvido. Apresenta-se em (A) todos os valores coletados na superfície deste reservatório e em (B) a média destes valores.	156
Figura 4.2 - Gráficos de dispersão entre as grandezas: cota média e o parâmetro oxigênio dissolvido divididos por trechos: lótico (A), transição (B) e lântico (C). Apresentam-se todos os valores coletados na superfície deste reservatório entre as estações de coletas de 01 a 08 (A), de 09 a 14 (B) e de 15 a 22 (C).	157

- Figura 4.3 - Gráfico de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro temperatura. 159
- Figura 4.4 - Gráfico de correlação entre as grandezas: pluviometria total e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro oxigênio dissolvido. 162
- Figura 4.5 - Gráfico de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro pH. 163
- Figura 4.6 - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro nitrogênio dissolvido (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B). 166
- Figura 4.7 - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro fosfato inorgânico (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B). 168
- Figura 4.8 - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro transparência (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B). 170



- Figura 4.9 - Gráfico de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro alcalinidade. 172
- Figura 4.10 - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro clorofila - A (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B). 173
- Figura 4.11 - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro cloreto (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B). 175
- Figura 4.12 - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro condutividade (A) e cota média e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro dureza (B). 177
- Figura 4.13 - Gráfico com a variação do parâmetro de qualidade pH ao longo das estações de coleta SBA01 a SBA22, com a indicação da linha de tendência da cota deste reservatório. 179
- Figura 4.14 - Gráfico com a variação histórica da cota do reservatório de Sobradinho, no período de janeiro/1998 a dezembro/2004, com as indicações dos limites mínimos: operacional e sanitário. 180
- Figura 4.15 - Tela de verificação da entrada dos dados para simulação. 181

Figura 4.16 - Relatórios de saída referente a uma simulação mensal nas regiões Nordeste (A) e Norte (B).	182
Figura 4.17 - Relatórios de saída do balanço de geração nas regiões Nordeste (A) e Norte (B).	183
Figura 4.18 - Relatório de saída da simulação hidráulica das usinas pertencentes aos sistemas elétricos.	184
Figura 4.19 - Gráfico em (A) mostra a variação do déficit ao longo das iterações e em (B) o detalhe na iteração número 30, onde ocorre um superávit.	185
Figura 4.20 - Gráfico que apresenta a distribuição da geração de energia entre as usinas pertencentes aos sistemas elétricos.	186

## LISTA DE TABELAS

---

---

	Página
Tabela 2.1 - Principais características das usinas pertencentes ao Sistema Interligado.	6
Tabela 2.2 - Comparativo entre os modelos analisados.	45
Tabela 3.1 - Valores de precipitação efetiva em função da evapotranspiração potencial mensal da cultura e da precipitação mensal.	75
Tabela 3.2 - Fator de correção da precipitação efetiva em função da variação da umidade inicial do solo.	76
Tabela 3.3 - Coeficientes de retirada urbana per capita conforme o Estado considerado e a faixa de população do município.	81
Tabela 3.4 - Coeficientes de retirada urbana per capita calculado, em litros/(habitante.dia), conforme o Estado considerado e a faixa de população do município.	83
Tabela 3.5 - Coeficientes de retirada rural per capita, conforme a Unidade da Federação.	85
Tabela 3.6 - Coeficientes per capita para espécies animais.	88
Tabela 3.7 - Parâmetros utilizados na estimativa das vazões de retirada e retorno da indústria.	91
Tabela 3.8 - Usos Consuntivos na bacia do rio Parnaíba no reservatório de Boa Esperança.	95
Tabela 3.9 - Usos Consuntivos na bacia do rio Contas no reservatório de Pedra.	97
Tabela 3.10 - Usos Consuntivos na bacia do rio Contas no reservatório de Funil.	99

Tabela 3.11 - Usos consuntivos no reservatório de Sobradinho, resultado do levantamento de 2004/2005 e dados do IBGE.	105
Tabela 3.12 - Vetores de evaporação mensal (mm) para as regiões Norte e Nordeste.	113

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>CCON</b>	Comitê Coordenador de Operação Norte/Nordeste
<b>CEMIG</b>	Companhia Energética do Estado de Minas Gerais
<b>CEPEL</b>	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
<b>CHESF</b>	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
<b>CNAE</b>	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
<b>CNRH</b>	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
<b>CODEBA</b>	Companhia Docas do Estado da Bahia
<b>CODEVASF</b>	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba
<b>COHEBE</b>	Companhia Hidro Elétrica de Boa Esperança
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>CPINS</b>	Cálculo e Previsão de Vazões Incrementais e Naturais a Sobradinho
<b>CRAE</b>	Complementary Relationship Areal Evapotranspiration
<b>CRLE</b>	Complementary Relationship Lake Evaporation
<b>DECOMP</b>	Determinação da Coordenação da Operação a Curto Prazo
<b>DNOCS</b>	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
<b>ELETRONORTE</b>	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A.
<b>FADURPE</b>	Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional
<b>GCOI</b>	Grupo Coordenador da Operação Interligada
<b>GEF</b>	Global Environment Facility (São Francisco)
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
<b>IP</b>	Indisponibilidade Programada
<b>MLT</b>	Média de Longo Termo
<b>NEWAVE</b>	Modelo Estratégico de Geração Hidrotérmica a Subsistemas Equivalentes.
<b>OD</b>	Oxigênio Dissolvido

<b>OPUS</b>	Modelo de Simulação das usinas Individualizadas
<b>ONS</b>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<b>PDE</b>	Programação Dinâmica Estocástica
<b>PMO</b>	Programa Mensal de Operação
<b>PNRH</b>	Plano Nacional de Recursos Hídricos
<b>PNSB</b>	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
<b>SBPC</b>	Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
<b>SCEN</b>	Subcomitê de Estudos Energéticos
<b>SIDRA</b>	Sistema IBGE de Recuperação Automática
<b>SIQQA</b>	Sistema Integrado de Qualidade e Quantidade de Água
<b>SIMONE</b>	Modelo de Simulação Energética do Norte/Nordeste
<b>SIMUNE</b>	Simulação dos Aproveitamentos do Sistema Nordeste
<b>SIMUNO</b>	Simulação dos Aproveitamentos do Sistema Norte
<b>SIN</b>	Sistema Interligado Nacional
<b>SRH</b>	Secretaria de Recursos Hídricos
<b>SisEVAPO</b>	Sistema de Avaliação da Evaporação Líquida dos Reservatórios
<b>SSARR</b>	Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation
<b>SUSHI</b>	Simulação de Usinas Individualizadas de Subsistemas Hidrotérmicos Interligados
<b>SUI</b>	Simulação a Usinas Individualizadas
<b>TEIF</b>	Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada

## LISTA DE SIMBOLOS

---

$\Delta V$	Variação diária do volume acumulado no reservatório (m <sup>3</sup> )
$Ait_{m,j}$	Área irrigada total no município (m), no mês (j), em ha
$CF_{EVP}$	Coefficientes mensais de evaporação
$CF_{PAC}$	Coefficientes do polinômio
$CFYJQD_{n, Q}$	Polinômio do canal de fuga x vazão defluente total (n = grau do Polinômio, m x m <sup>3</sup> /s)
$CM$	Cota de montante equivalente (m)
$CP_{(Fxn)}$	Per capita da faixa na qual se enquadra o município, L/(hab.dia)
$CP_{(Fxn)}$	Vazão da faixa n per capita, L/(hab.dia), considerando o Estado e a faixa populacional do município
$CP_{Est}$	Consumo per capita do Estado, L/(hab.dia)
$CP_{Fx1}$	Consumo per capita da faixa 1, L/(hab.dia)
$CP_{Fx2}$	Consumo per capita da faixa 2, L/(hab.dia)
$CP_{Fx3}$	Consumo per capita da faixa 3, L/(hab.dia)
$CP_{Fx4}$	Consumo per capita da faixa 4, L/(hab.dia)
$CP_{rur}$	Vazão rural per capita, L/(hab.dia), considerando o Estado onde se localiza o município
$E_a$	Eficiência de aplicação, adimensional
$Ea_{m,j}$	Eficiência de aplicação da cultura média no município (m), para o mês (j), adimensional.
$EAR$	Energia armazenada (MWh)
$EHD$	Energia gerada (MWh)
$E_{lago}$	Evaporação do lago
$E_{MAX}$	Energia Armazenada Máxima ou Capacidade de Geração Contínua (MWh)
$EN_{AF}$	Energia natural afluente (MWh)
$E_{tanque}$	Evaporação do tanque classe A
$ET_o$	Evapotranspiração de referência, medida no lugar da cultura considerada

$ET_{0m,j}$	Evapotranspiração de referência no município (m), para o mês (j), em mm/mês
$ET_p$	Evapotranspiração potencial da cultura considera
$EVT_{TO}$	Energia vertida total (MWh)
$EVT_{TU}$	Energia vertida turbinável (MWh)
$GH_{MN}$	Geração Hidráulica Mínima (MW)
$GH_{MX}$	Geração Hidráulica Máxima (MW)
$G_{MN}$	Geração Mínima MW)
$G_{MX}$	Geração Máxima (MW)
$HB$	Altura Bruta (m)
$H_{LIQ}$	Altura Líquida (m)
$H_{PERDAS}$	Perdas Hidráulicas (m)
$K$	Constante (adimensional)
$K_a$	Coefficiente de passagem tanque/lago
$K_c$	Coefficiente de cultivo
$Kc_{m,j}$	Coefficiente da cultura para a cultura média no município (m), para o mês (j), adimensional
$kr_{anim}$	Coefficiente de retorno da criação animal, adimensional
$kr_{rur}$	Coefficiente de retorno do abastecimento rural, adimensional
$kr_{urb}$	Coefficiente de retorno do abastecimento urbano, adimensional
$Ks_{m,j}$	Coefficiente de umidade da cultura média no município (m), para o mês (j), adimensional
$P$	Produtividade média (MW/ m <sup>3</sup> /s)
$P_{efm,j}$	Precipitação efetiva no município (m), para o mês (j), mm/mês
$P_{esc}$	Perdas por escoamento superficial, adimensional
$P_{ev}$	Perdas por evaporação e arraste, adimensional
$Pop_{Est}$	População do Estado, atendida pelo sistema público de abastecimento de água, em habitantes, obtida do censo demográfico de 2000
$Pop_{Fx1}$	População do Estado pertencente à faixa 1, hab
$Pop_{Fx2}$	População do Estado pertencente à faixa 2, hab
$Pop_{Fx3}$	População do Estado pertencente à faixa 3, hab
$Pop_{Fx4}$	População do Estado pertencente à faixa 4, hab



$Pop_{r,a}$	População rural do município atendida por rede geral, habitantes
$Pop_{r,na}$	População rural do município não atendida por rede geral, habitantes
$Pop_{u,a}$	População urbana do município abastecida por rede geral, habitantes
$Pop_{u,na}$	População urbana não atendida por rede geral, habitantes
$P_p$	Perdas de água por percolação além da zona radicular, adimensional
$Q$	Vazão total defluente média ( $m^3/s$ )
$q_{(esp\ anim)}$	Vazão per capita por espécie animal, L/(animal.dia)
$Q_a$	Vazão retirada para abastecimento animal por município, L/dia
$Q_{a,r}$	Vazão de retorno da criação animal, L/dia
$Q_{afl}$	Vazão afluyente ao reservatório ( $m^3/s$ )
$Q_{def}$	Vazão defluente total do reservatório ( $m^3/s$ )
$Q_{def\ mon\ prop}$	Vazão defluente do(s) reservatório(s) de montante, devidamente propagada em condições de reservatório ( $m^3/s$ )
$QE_{MXMD}$	Engolimento máximo mensal ( $m^3/s$ )
$Q_{EV}$	Vazão evaporada ( $m^3/s$ )
$Q_{evap}$	Vazão relativa à evaporação do reservatório do aproveitamento ( $m^3/s$ )
$Q_{i,r,m,j}$	Vazão de retorno (r) da irrigação no município (m), $m^3/mês$
$Q_{i,m,j}$	Vazão de retirada para irrigação no município (m), em $m^3/mês$
$Q_{inc}$	Vazão relativa à bacia incremental, entre o aproveitamento e o(s) aproveitamento(s) de montante ( $m^3/s$ )
$Q_{inc\ trat}$	Vazão da bacia incremental do aproveitamento, após a aplicação do tratamento
$Q_{ind}$	Vazão total de retirada para abastecimento industrial no município (m), $m^3/s$
$Q_{NA}$	Vazão natural afluyente ( $m^3/s$ )
$Q_{nat}$	Vazão natural no local do aproveitamento ( $m^3/s$ )
$Q_{nat\ mon.prop}$	Vazão natural do(s) reservatório(s) de montante, devidamente propagada em condições naturais ( $m^3/s$ )
$Q_r$	Vazão de retirada para abastecimento rural por município, L/dia

$Q_{r,r}$	Vazão de retorno do abastecimento rural, L/dia
$QTU$	Vazão defluente turbinada ( $m^3/s$ )
$QTU_{MNMD}$	Vazão Turbinada Mínima Média ( $m^3/s$ )
$QTU_{MXMD}$	Vazão Turbinada Máxima Média ( $m^3/s$ )
$Q_u$	Vazão de captação, L/dia
$Q_{u,r}$	Vazão de retorno do abastecimento urbano, L/dia
$QUEDA_{LÍQUIDA}$	Altura líquida (m)
$Q_{uso\ cons}$	Vazão relativa aos usos consuntivos da bacia incremental ( $m^3/s$ )
$QVT$	Vazão vertida ( $m^3/s$ )
$QVTU$	Vazão vertida turbinável ( $m^3/s$ )
$R$	Produtividade (MW / $m^3/s$ )
$Reb_{(esp.anim)}$	Rebanho do município para cada espécie animal, obtida nos censos do IBGE
$REP$	Produtividade Específica (MW/ $m^3/s$ / m)
$RESPEAR$	Produtividade equivalente (MW / $m^3/s$ )
$RMD$	Produtividade média da usina (MW / $m^3/s$ )
$RMD_{ENAF}$	Produtibilidade média para cálculo da energia afluyente (MW / $m^3/s$ )
$RT$	Produtividade acumulada (MW / $m^3/s$ )
$VD_{Est}$	Volume distribuído no Estado, L/d, obtido pela soma dos volumes distribuídos nos municípios com consumo superior a 70 L/(hab.dia) ou inferior a 450 L/(hab.dia), da PNSB
$V_{MN}$	Volume correspondente à cota mínima ( $hm^3$ )
$VOL_{DIA}$	Estado de armazenamento para o qual se calcula a energia armazenada ( $hm^3$ )
$VP_{(ProdutoY)}$	Valor da produção anual do produto Y, convertido para US\$
$V_{retirada(ProdutoY)}$	Volume captado por unidade monetária produzida do produto Y, $m^3/US\$$
$X$	Coefficiente de proporcionalidade; $L^2/(hab^2.d^2)$
$Y_{JUMD}$	Cota média de jusante (m)
$Y_{JUNM}$	Cota do canal de fuga nominal (m)
$YM_{JUS}$	Nível médio de montante da usina de Jusante (m)
$Y_{MOIN}$	Cota de montante no início do período (m)
$Y_{MOND}$	Nível médio de montante (m)

# MODELO COMPUTACIONAL PARA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS COM MÚLTIPLOS USOS

## RESUMO

Os desafios atuais para gerenciamento dos recursos hídricos decorrentes dos acréscimos no consumo de água, exigem o desenvolvimento e utilização de modelos e métodos computacionais para otimização destes recursos e minimização dos conflitos. Para atender a estas necessidades, se apresenta, neste trabalho, o Modelo de Simulação Energética do Norte/Nordeste (SIMONE), modificado com o objetivo de otimizar os usos múltiplos dos reservatórios pertencentes ao Sistema Interligado Nacional (SIN) de geração de energia hidroelétrica, observando os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos disponíveis. O modelo proposto trabalha com as usinas hidroelétricas e termoelétricas pertencentes às regiões Norte e Nordeste do Brasil, tendo como estudo de caso o reservatório da usina de Sobradinho. Com a finalidade de possibilitar a verificação do atendimento aos diversos usuários das águas desse reservatório foi realizado e utilizado o cadastramento dos usuários localizados na borda do seu lago, bem como a análise das variações dos parâmetros de qualidade da água, em função do nível da água acumulada. As modificações realizadas no Modelo SIMONE permitiram que fossem consideradas as retiradas consuntivas, analisadas as variações nos parâmetros físico-químicos da água e admitidas nas simulações as configurações das usinas no período considerado, tais como o número de máquinas instaladas, as curvas-chave e vetores de evaporação. Após as modificações, o Modelo SIMONE mostrou ser uma ferramenta simples e eficaz na determinação da repartição otimizada dos recursos hídricos disponíveis, entre os múltiplos usuários do sistema interligado de geração de energia elétrica.

**PALAVRAS - CHAVE:** Modelo de Simulação de reservatórios, Usos Múltiplos, Análise Qualitativa das Águas de Reservatórios, Usina de Sobradinho, bacia do rio São Francisco.

**Nome:** Arquimedes Parente Paiva Mororó

# COMPUTATIONAL MODEL FOR RESERVOIR OPERATION WITH MULTIPLE USES

## ABSTRACT

The challenges nowadays, designed for water resource management, owing to the increase of water consumption, require the development and use of computer models and methods to optimize these resources and minimize the possible conflicts. To attend to these needs, the modified North/Northeast Energy Simulation Model (SIMONE) is presented in this work. This Model has the objective of optimizing the multiple uses of the hydroelectric generation of energy reservoir pertained by the National Linked System (SIN), observing the qualitative and quantitative aspects of the water resources available. With the purpose of making the verification of attendance to various users of the water of these reservoirs possible, a registering of users located at the margin of their lake was done and used, as well as, the analysis of the parameter variations of the quality of the water, due to the level of water accumulated. The modifications realized in the SIMONE Model permitted that, considering the consumption withdrawals, analysis of the variations of the physical-chemical parameters of the water and admitting in the simulations the configurations of the plants in the period taken into consideration, such as the number of machines installed, the key-curves and evaporation vectors. After the modifications, the SIMONE Model proved to be a simple and efficient tool in determining the optimized distribution of the available water resources among the multiple users of the interlinked hydroelectric generation of the energy system.

**KEY - WORDS:** Reservoir Simulation Model, Multiple Uses, Reservoir Water Qualitative Analysis, Plant of Sobradinho, basin of the river San Francisco.

**Name:** Arquimedes Parente Paiva Mororó

# CAPÍTULO 1.0

---

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - APRESENTAÇÃO DO TEMA DA DISSERTAÇÃO

Conforme relatório do Estado das Águas no Brasil (ANA, 2002), estima-se que a quantidade de água existente na Terra seja a mesma desde a Pré-História. Contudo, o seu número de habitantes não pára de crescer. Se a população humana está crescendo de forma acelerada, o que dizer do consumo de água, que aumenta em velocidade duas vezes maior. Além disso, o ser humano, sem pensar nas conseqüências de suas ações, polui as águas e provoca alterações no ciclo hidrológico, podendo gerar impactos, muitas vezes, prejudiciais à sua própria existência.

Em termos globais, a Terra tem uma quantidade de água muito superior à demanda gerada pelo homem e suas atividades. Entretanto, a grande variabilidade da disponibilidade hídrica, no tempo e no espaço, aliada ao desordenado processo de ocupação e fixação do ser humano, vem desencadeando, cada vez mais, uma série de problemas hídricos, em diversas regiões do planeta.

No Brasil, apesar do país contar com a maior disponibilidade hídrica do mundo, por onde escoa cerca de 19,5% da água doce superficial do planeta, grande parte desses recursos encontra-se na Região Amazônica, onde reside pequena parcela de nossa população e a demanda hídrica é muito baixa. Tal fato, porém, não exime a Amazônia de ter problemas relativos à questão hídrica, pois onde existe aglomeração de pessoas, há necessidade de sistemas de abastecimento, de coleta de esgoto e de tratamento de água, sem os quais a qualidade de vida e a saúde da população são comprometidas. Mais críticos, no entanto, são os locais onde existem maiores concentrações populacionais e menores disponibilidades hídricas. Nesses, a contaminação e a superexploração

dos corpos d'água são freqüentes, gerando prejuízos ao meio ambiente e ao homem, além de conflitos entre usuários da água. No Brasil, são várias as regiões que apresentam algum tipo de problema hídrico e, por isso, necessitam urgentemente da implementação de um sistema eficaz de gestão dos corpos d'água.

A promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, constituiu um marco para o setor de recursos hídricos do Brasil. Além de instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos, ela criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, a partir de seus fundamentos, diretrizes e instrumentos, a gestão de recursos hídricos vem avançando de forma bastante rápida em todo o país. Em 2000, foi publicada a Lei nº 9.984, que criou a Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e, desde então, muito se tem feito em gestão de águas no Brasil, conferindo-se a este meio um caráter bastante dinâmico (ANA, 2002).

Para atender à necessidade de gerenciamento de um sistema de reservatórios em cascata, deve-se identificar e cadastrar as comunidades envolvidas, tanto a montante como a jusante dos reservatórios, as várias captações para os diversos usuários, bem como os pontos de lançamento de efluentes, sendo importante o monitoramento da qualidade de água nos rios e reservatórios do país.

O gerenciamento proposto neste estudo faz uso de um modelo que permite realizar simulações dos reservatórios pertencentes aos sistemas hidrelétricos das regiões Norte/Nordeste do Brasil, buscando a otimização dos recursos hídricos disponíveis para os diversos usos e o acompanhamento nas definições das cotas destes reservatórios, bem como as variações das vazões defluentes destes aproveitamentos para atendimento das restrições hidráulicas.

## **1.2 - OBJETIVOS**

### **1.2.1 - Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é o de aperfeiçoar e ajustar um modelo operacional que possibilite a minimização de conflitos dos diversos usos para os recursos hídricos de um sistema hidrelétrico interligado, visando os aspectos de disponibilidade em termos quantitativos e qualitativos.

### **1.2.2 - Objetivos Específicos**

- Ajustar um modelo computacional existente às necessidades dos objetivos propostos;
- Implementar um banco de dados com as informações cadastrais das usinas, pontos de captação, datas de entrada em operação das unidades geradoras, vetores de evaporação, séries de vazões naturais e incrementais e informações de entrada e saída das simulações realizadas;
- Analisar os aspectos quantitativos e qualitativos na área do reservatório da usina de Sobradinho, que possam expressar uma dimensão de risco nas suas diversas aplicações;
- Simular as usinas pertencentes ao sistema Norte/Nordeste, de forma a otimizar os recursos hídricos da região, considerando suas configurações históricas;
- Fornecer subsídios para a elaboração do PMO - Programa Mensal da Operação, para atendimento ao Sistema Interligado Nacional;
- Atender às restrições hidráulicas estabelecidas;
- Considerar as perdas por usos consuntivos, como também por evaporação;

### **1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Descreve-se, a seguir, a área de estudo apresentando as principais características dos empreendimentos integrantes do SIN - Sistema Interligado Nacional, bem como as características dos usos múltiplos e suas implicações.

Pretende-se apresentar na proposta metodológica as características dos modelos estudados e os critérios adotados para a escolha do modelo ideal para a implementação dos objetivos propostos. Com a definição do modelo, devem-se detalhar suas funcionalidades e as novas implementações e melhorias.

O modelo de simulação selecionado trabalha com vários dados de entrada para sua implementação. Desta forma, serão mostradas as regras e as metodologias de cálculo para obtenção destes dados, tais como: usos consuntivos, séries de vazões, vetores de evaporação, regras de operação da cascata e definição das restrições hidráulicas.

Neste modelo, apresentam-se as implementações das análises qualitativas da água, onde se procura relacionar a variação da cota com os parâmetros físico-químicos, aplicando esta metodologia ao reservatório da usina de Sobradinho. Com o aprimoramento do modelo, verificam-se uma melhora em suas funcionalidades e aplicações nos programas mensais da operação, como também as questões de usos múltiplos e aspectos qualitativos e quantitativos das águas armazenadas.



## **CAPÍTULO 2.0**

---

---

### **REVISÃO DA LITERATURA**

#### **2.1 - CARACTERÍSTICAS DOS EMPREENDIMENTOS**

A Tabela 2.1 mostra as principais características das usinas hidroelétricas e termelétricas das regiões Norte e Nordeste.

**Tabela 2.1 - Principais características das usinas pertencentes ao Sistema Interligado.**

<b>Características</b> <b>Usinas</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Rio</b>	<b>Longitude Oeste</b>	<b>Latitude Sul</b>	<b>Município</b>	<b>Potência instalada (KW)</b>	<b>Unidades geradoras</b>	<b>Início de Operação</b>
TRÊS MARIAS	CEMIG	São Francisco	45°14'56"	18°13'33"	Três Marias-MG	396.000	6	26/06/1962
SOBRADINHO	CHESF	São Francisco	40°50'00"	09°35'00"	Sobradinho-BA	1.050.300	6	23/10/1979
LUIZ GONZAGA	CHESF	São Francisco	38°18'40"	09°08'40"	Petrolina-PE	1.479.600	6	13/06/1988
APOLÔNIO SALES	CHESF	São Francisco	38°12'31"	09°21'26"	Delmiro Gouveia-AL	400.000	4	15/04/1977
PAULO AFONSO I	CHESF	São Francisco	38°12'10"	09°22'36"	Paulo Afonso-BA	180.001	3	15/01/1955
PAULO AFONSO II	CHESF	São Francisco	38°12'10"	09°22'36"	Paulo Afonso-BA	443.000	6	24/10/1961
PAULO AFONSO III	CHESF	São Francisco	38°12'10"	09°22'36"	Paulo Afonso-BA	794.200	4	21/10/1971
PAULO AFONSO IV	CHESF	São Francisco	38°12'30"	09°24'59"	Paulo Afonso-BA	2.462.400	6	01/12/1979
XINGÓ	CHESF	São Francisco	37°47'23"	09°37'05"	Canindé do São Francisco-SE	3.162.000	6	16/12/1994
BOA ESPERANÇA	CHESF	Parnaíba	43°34'00"	06°45'00"	Guadalupe-PI	225.300	4	07/04/1970
PEDRA	CHESF	Contas	40°03'00"	13°53'00"	Jequié-BA	20.007	1	13/11/1978
FUNIL	CHESF	Contas	39°30'00"	14°14'00"	Ubaitaba-BA	30.000	3	27/08/1962
ARARAS	CHESF	Acaraú	40°23'50"	04°12'09"	Reriutaba-CE	4.000	2	14/04/1967
CUREMAS	CHESF	Piancó	37°58'00"	07°01'00"	Coremas-PB	3.520	2	07/01/1957
PILOTO	CHESF	São Francisco	37°16'00"	09°22'00"	Paulo Afonso-BA	2.000	1	08/10/1949
CAMAÇARI *	CHESF	-	38°19'00"	12°37'00"	Dias D'Ávila-BA	292.500	5	23/07/1979
BONGI *	CHESF	-	34°55'00"	08°04'00"	Recife-PE	142.470	5	16/11/1977
SERRA DA MESA	FURNAS	Tocantins	48°18'20"	13°50'09"	Minaçú-GO	1.275.000	3	17/04/1998
CANA BRAVA	TRACTEBEL	Tocantins	48°08'32"	13°24'28"	Colinas do Sul-GO	471.600	3	22/05/2002
LAJEADO	INVESTCO S.A.	Tocantins	48°22'28"	09°45'23"	Lajeado-TO	902.500	5	01/12/2001
TUCURUI	ELETRONORTE	Tocantins	49°40'03"	03°45'03"	Belém-PA	5.740.000	15	10/11/1984

\* Usinas Termoelétricas

Segue abaixo, uma descrição resumida dos aproveitamentos pertencentes às regiões Norte e Nordeste:

### **2.1.1 - Usina Hidrelétrica de Três Marias**

O aproveitamento hidrelétrico de **Três Marias** está localizado no Estado de Minas Gerais - MG, no município de Três Marias. A usina está localizada no trecho alto do rio São Francisco, estando a sua operação sob a coordenação da Companhia Energética do estado de Minas Gerais (CEMIG).

Compreendem o represamento de Três Marias as seguintes estruturas: barragem de terra zoneada, comprimento total de 3,25 km; casa de força com 6 unidades geradoras acionadas por turbinas Kaplan com potência unitária de 66.000 KW, totalizando 396.000 KW; vertedouro de superfície para extravasar a cheia de teste de segurança da obra de 8.700 m<sup>3</sup>/s. (CEMIG, 2005).

### **2.1.2 - Usina Hidrelétrica de Sobradinho**

O aproveitamento hidrelétrico de **Sobradinho** está localizado no Estado da Bahia, estando cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro - BA e Petrolina - PE.

Este aproveitamento instalado no rio São Francisco, principal rio da região nordestina, possui uma área de drenagem de 498.968 km<sup>2</sup>. A usina está posicionada a 748 km de sua foz, possuindo, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região.

O reservatório de Sobradinho tem cerca de 320 km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 km<sup>2</sup> e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos em sua cota nominal de 392,50 m. Constitui-se num dos maiores lagos artificiais do mundo, garantindo assim, através de uma depleção de até 12 m, uma vazão regularizada de 2.060 m<sup>3</sup>/s nos períodos de estiagem e permitindo a operação de todas as usinas da CHESF situadas ao longo do rio São Francisco.

Incorpora-se a esse aproveitamento de grande porte uma eclusa, de propriedade da Companhia Docas do estado da Bahia (CODEBA), cuja câmara

tem 120 m de comprimento por 17 de largura, permitindo às embarcações vencerem o desnível de 32,5 metros criados pela barragem, possibilitando a continuidade da tradicional navegação entre o trecho do rio São Francisco compreendido entre as cidades de Pirapora - MG e Juazeiro - BA – Petrolina - PE.

Compreendem o represamento de Sobradinho as seguintes estruturas: barragem de terra zoneada com 12.000.000 de m<sup>3</sup> de maciço, altura máxima de 41 m e comprimento total de 12,5 km; casa de força com 6 unidades geradoras acionadas por turbinas Kaplan com potência unitária de 175.050 KW, totalizando 1.050.300 KW; vertedouro de superfície e descarregador de fundo dimensionados para extravasar a cheia de teste de segurança da obra, com capacidade máxima de descarga de 22.500 m<sup>3</sup>/s; tomada d'água com capacidade de até 25 m<sup>3</sup>/s para alimentação de projetos de irrigação da região (CHESF, 2004).

### **2.1.3 - Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga (Itaparica)**

O aproveitamento hidrelétrico de **Itaparica**, que passou a se chamar de **Luiz Gonzaga** em homenagem ao "rei do baião nordestino" de mesmo nome, localiza-se no Estado de Pernambuco, 25 km a jusante da cidade de Petrolândia - PE.

A usina Luiz Gonzaga está instalada no rio São Francisco, com área de drenagem de 592.479 km<sup>2</sup>. A usina está posicionada a 50 km a montante do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso, possuindo, além da função de geração de energia elétrica, a de regularização das vazões afluentes diárias e semanais daquelas usinas.

O represamento de Itaparica é feito por uma barragem de seção mista terra-enrocamento, com altura máxima da ordem de 105,00 m, associada às estruturas de concreto da casa de máquinas e vertedouro, que é dotado de 09 comportas tipo setor, com capacidade máxima de descarga de 26.685 m<sup>3</sup>/s, com uma extensão total da crista de 4.700 m, incluindo o trecho das estruturas de concreto com cerca de 720 m. O coroamento da barragem é na cota 308,10 m com largura da crista em 10 m. Na usina estão instaladas 6 unidades,

acionadas por turbinas Francis, com potência unitária de 246.600 KW, totalizando 1.479.600 kW (CHESF, 2004).

#### **2.1.4 - Usina Hidrelétrica de Apolônio Sales (Moxotó)**

O aproveitamento hidrelétrico de Moxotó, que passou a se chamar **Apolônio Sales** em homenagem a um dos ex-presidentes da CHESF, encontra-se localizado no município de Delmiro Gouveia - AL, a 8 km da cidade de Paulo Afonso - BA. Integrante do Complexo de Paulo Afonso, a usina Apolônio Sales localiza-se a cerca de 3 quilômetros a montante da barragem Delmiro Gouveia, de modo que a água turbinada em suas máquinas, aciona também as usinas de Paulo Afonso I, II e III. Num segundo desnível em cascata e através de um canal escavado a partir de sua margem direita, o reservatório de Moxotó fornece também a água necessária ao acionamento da usina de Paulo Afonso IV, que se situa em paralelo ao mesmo.

A usina de Apolônio Sales, construída e projetada pela CHESF, está instalada no rio São Francisco, com área de drenagem de 605.171 km<sup>2</sup>. O represamento de Moxotó consta de uma barragem mista terra-enrocamento, com altura máxima de 30 m e comprimento total da crista de 2.825 m, associado às estruturas de concreto, tais como: 01 (um) descarregador de fundo, 01 (um) vertedouro com descarga controlada dotado de 20 comportas do tipo setor, com capacidade máxima de descarga de 28.000 m<sup>3</sup>/s, e casa de força com 4 unidades geradoras, acionadas por turbinas Kaplan, cada uma com 100.000 KW, totalizando uma potência instalada de 400.000 KW (CHESF, 2004).

#### **2.1.5 - Usinas Hidrelétricas de Paulo Afonso I, II e III**

Os aproveitamentos hidrelétricos de **Paulo Afonso I, II e III**, integrantes do Complexo de Paulo Afonso, localizam-se na cidade de Paulo Afonso, Estado da Bahia.

As usinas Paulo Afonso I, II e III, projetadas e construídas pela CHESF, estão instaladas no rio São Francisco, com área de drenagem de 605.171 km<sup>2</sup>. As três usinas estão em um mesmo represamento, constituído de uma

barragem do tipo gravidade em concreto armado, com altura máxima de 20 m e comprimento total da crista de 4.707 m, associado às estruturas de concreto tais como: 01 (um) vertedouro do tipo Creager, com descarga livre; 04 (quatro) vertedouros de superfície, com comportas tipo vagão; 01 descarregador de fundo; 2 drenos de areia; tomada d'água e casa de força subterrâneas, escavada em rocha, com profundidade aproximada de 80 m.

A usina Paulo Afonso I é constituída de 3 unidades geradoras acionadas por turbinas Francis, com potência unitária de 60.000 KW, totalizando 180.000 KW.

A usina Paulo Afonso II é constituída por 6 unidades geradoras acionadas por turbinas Francis, sendo 2 unidades com potência unitária de 70.000 KW, 1 unidade com potência unitária de 75.000 KW e 3 unidades com potência unitária de 76.000 KW, totalizando 443.000 KW.

A usina de Paulo Afonso III possui 4 unidades geradoras acionadas por turbinas Francis, com potência unitária de 198.550 KW, totalizando 794.200 KW (CHESF, 2004).

#### **2.1.6 - Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso IV**

O aproveitamento hidrelétrico **Paulo Afonso IV**, integrante do Complexo de Paulo Afonso, encontra-se localizado na cidade de Paulo Afonso, Estado da Bahia.

A usina de Paulo Afonso IV está instalada no rio São Francisco, com área de drenagem de 605.171 km<sup>2</sup>. Esta usina recebe água do reservatório de Moxotó através de um canal de derivação. A água turbinada, em conjunto com aquela turbinada em Paulo Afonso I, II e III, segue pelo canyon para a usina de Xingó.

O represamento de Paulo Afonso IV é constituído de barragens e diques de seção mista terra-enrocamento num comprimento total de 7.430 m e altura máxima de 35,00 m; estruturas de concreto num comprimento total de 1.053,50 m compreendendo: vertedouro com 8 comportas tipo segmento, com capacidade de descarga de 10.000 m<sup>3</sup>/s, tomada d'água, casa de máquinas do tipo subterrânea com 6 unidades geradoras acionadas por turbinas Francis,

cada uma com capacidade nominal de 410.400 KW, totalizando 2.462.400 KW (CHESF, 2004).

### **2.1.7 - Usina Hidrelétrica de Xingó**

O aproveitamento hidrelétrico de **Xingó** está localizado entre os Estados de Alagoas e Sergipe, situando-se a 12 km do município de Piranhas - AL e a 6 km do município de Canindé do São Francisco - SE.

A usina de Xingó está instalada no rio São Francisco, com área de drenagem de 609.386 km<sup>2</sup>. Está posicionada, com relação ao rio São Francisco, a cerca de 65 km a jusante do complexo de Paulo Afonso. Face às condições naturais de sua localização em um canyon, o seu reservatório transformou-se numa fonte de turismo na região, através da navegação no trecho entre Paulo Afonso e Xingó, além de prestar-se ao desenvolvimento de projetos de irrigação e ao abastecimento d'água para a cidade de Canindé - SE.

Compreendem o represamento de Xingó as seguintes estruturas: barragem de enrocamento com face de concreto a montante, com cerca de 140 m de altura máxima; na margem esquerda (AL) situa-se o vertedouro de superfície do tipo encosta com duas calhas e 12 comportas do tipo segmento, com capacidade de descarga de 33.000 m<sup>3</sup>/s; na margem direita (SE) estão localizados os muros, tomada d'água, condutos forçados expostos, casa de força do tipo semi-abrigada, canal de restituição e diques de seção mista terra-enrocamento, totalizando o comprimento da crista em 3.623 m. A usina geradora é composta por 6 unidades, acionadas por turbinas Francis, com 527.000 KW de potência nominal unitária, totalizando 3.162.000 KW de potência instalada, havendo previsão para mais quatro unidades idênticas numa segunda etapa (CHESF, 2004).

### **2.1.8 - Usina Hidrelétrica de Boa Esperança**

O aproveitamento hidrelétrico de **Boa Esperança**, que foi implantado pela Companhia Hidroelétrica da Boa Esperança (COHEBE) a partir de 1968, e posteriormente transferido para a Companhia Hidroelétrica do São Francisco

(CHESF), está localizado no município de Guadalupe, estado do Piauí, a aproximadamente 80 km a montante da cidade de Floriano - PI.

O represamento de Boa Esperança é feito por uma barragem do tipo mista terra-enrocamento, com altura máxima de 53 m, e comprimento total da crista de 5.212 m, associada às estruturas de concreto, tais como: vertedouro dotado de 6 comportas tipo setor com vazão máxima de 12.000 m<sup>3</sup>/s; casa de força do tipo semi-abrigada, com 4 unidades geradoras acionadas por turbinas Francis, sendo 2 unidades de 49.000 KW cada, e 2 unidades de 63.650 KW cada, totalizando uma capacidade instalada de 225.300 KW (CHESF, 2004).

### **2.1.9 - Usina Hidrelétrica da Pedra**

O aproveitamento hidrelétrico de **Pedra** localiza-se no Estado da Bahia, encontra-se localizado no rio de Contas, num trecho denominado Pedra Santa, 18 km a montante da cidade de Jequié, sendo constituído por uma única máquina de 20.007 KW acionada por turbina Kaplan.

Este rio constitui-se num importante curso d'água incluído entre os cinco mais importantes do estado da Bahia, que nasce na vertente leste da Serra das Almas, na Chapada Diamantina e é um dos componentes da "Bacia do Leste". Para a regularização das descargas do rio de Contas, num ponto onde a área de drenagem é de 38.720 km<sup>2</sup>, criando um reservatório de acumulação de 1.750 hm<sup>3</sup>. Esta usina foi construída sobre rocha sã encontrada a aproximadamente 10 metros sob o leito do rio. O aproveitamento visa, além da regularização do rio para o controle das enchentes, abastecimento d'água, irrigação e geração de energia elétrica.

A extensão da bacia hidrográfica do rio das Contas é da ordem de 53.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 75% situam-se no "Polígono das Secas". A parte restante atravessa zona de matas da região cacauzeira. Com uma extensão de pouco mais de 500 km, apresenta desde a nascente até sua foz em Itacaré - BA, uma queda de 615 m. Seu regime, genuinamente torrencial, apresenta grandes variações de descargas.

O represamento da Pedra é composto de 24 blocos dos quais os sete blocos centrais (de nº. 12 a 18) são vertentes, com crista na cota 219,00 m, dotados de sete comportas de setor de 9,0 metros de altura por 12,50 metros



de vão. O coroamento da barragem é na cota 232,00 m. O muro de contenção da margem esquerda é do tipo misto de alvenaria de pedra seca, reforçado por concreto levemente armado, na margem direita, o muro de contenção é de concreto e separa o dissipador de energia do conjunto descarregador de fundo da usina hidrelétrica (CHESF, 2004).

#### **2.1.10 - Usina Hidrelétrica de Funil**

O aproveitamento hidrelétrico de **Funil** localiza-se no Estado da Bahia no município de Ubaitaba e está instalado no rio de Contas, posicionada a 122 km a jusante da usina da Pedra.

O represamento do Funil, com área de drenagem de 45.400 km<sup>2</sup>, é feito por uma barragem de gravidade dotada de oito comportas de setor e construída em concreto com 292,69 m de comprimento total na crista; 58,00 m de largura máxima na fundação e altura máxima acima da fundação da ordem de 60,00 m, com crista na cota 86,81m. O coroamento da barragem é na cota 97,00m. A usina geradora, acionada por turbinas Francis, encontra-se localizada na margem direita a jusante da ombreira e é composta por 3 unidades geradoras de 10.000 KW, perfazendo um total de 30.000 KW (CHESF, 2004).

#### **2.1.11 - Usina Hidrelétrica de Araras**

O aproveitamento hidrelétrico **Araras** encontra-se localizado na cidade de Varjota - CE, distante 60 km da cidade de Sobral - CE, cuja barragem foi construída pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), é suprida pelo açude público denominado Paulo Sarasate, que por sua vez é suprido pelo rio Acaraú de regime intermitente.

São partes constituintes do aproveitamento: uma barragem de terra e enrocamento com comprimento total da crista de 2.600 m, tendo volume útil da ordem de 982 hm<sup>3</sup> e área máxima normal da ordem de 96,25 km<sup>2</sup>, com altura máxima de 38 m, e queda líquida de 27,00 m. Existe um vertedouro de superfície com descarga livre e um descarregador de fundo com capacidade

total de descarga da ordem de 1.500 m<sup>3</sup>/s, possuindo esta usina uma característica múltipla de geração de energia e irrigação agrícola da região.

A usina é constituída por 2 unidades geradoras, acionadas por turbinas Kaplan, de 2.000 KW, perfazendo um total de 4.000 KW. A sala de máquinas encontra-se no subsolo abrangendo uma área de 379,50 m<sup>2</sup>. O suprimento d'água é efetuado por meio de dois condutos forçados ligando o reservatório às turbinas. A tomada d'água é efetuada por meio de dois condutos forçados ligando o reservatório às turbinas (CHESF, 2004).

### **2.1.12 - Usina Hidrelétrica de Curemas**

O aproveitamento hidrelétrico **Curemas** encontra-se localizado na cidade de Coremas, estado da Paraíba, sendo suprida pelos açudes públicos de Coremas (Estevam Marinho e Mãe D'água) no rio Piancó e o de Mãe D'água no rio Aguiar, interligados por um canal cujo fundo se encontra na cota 237,00 m e com uma capacidade máxima de 12 m<sup>3</sup>/s.

São partes constituintes do aproveitamento: uma barragem de terra e enrocamento com comprimento total da crista de 2.670 m, tendo volume útil da ordem de 1.300 hm<sup>3</sup> e área, na cota normal da ordem de 97,94 km<sup>2</sup>, com altura máxima de 42 m e queda líquida de 32,00 m.

Existe um vertedouro de superfície com descarga livre com capacidade total de descarga da ordem de 500 m<sup>3</sup>/s, possuindo esta usina uma característica múltipla de geração de energia e irrigação na própria bacia e no Alto Piranhas através de transposição.

A usina é constituída por 2 unidades geradoras, acionadas por turbinas Francis, de 1.760 KW, perfazendo um total de 3.520 KW. A tomada d'água é efetuada por meio de dois condutos forçados ligando o reservatório às turbinas. A casa de força, construída em edifício de concreto armado, está instalada imediatamente à jusante da barragem (CHESF, 2004).

### **2.1.13 - Usina Hidrelétrica Piloto**

O aproveitamento hidrelétrico **Piloto**, está localizado na cidade de Paulo Afonso, Estado da Bahia, projetada e construída pela CHESF, está instalada

na margem esquerda do riacho Gangorra, com aproveitamento do braço do Capuxu, a cerca de 500 m da margem direita do rio São Francisco.

O represamento de Piloto consta de uma barragem de gravidade em alvenaria de concreto ciclópico, com 150 m de comprimento e 4 m de altura; sangradouro do tipo livre com vertimento sobre os flash-boards de madeira; tomada d'água dotada de duas comportas metálicas e respectivos maquinismo de manobra; sala de máquinas com 01 unidade geradora, acionada por uma turbina Francis de 2.000 KW, cujo controle de vazão de alimentação é feito através de válvulas tipo borboleta (CHESF, 2004).

#### **2.1.14 - Usina Termoelétrica de Camaçari**

A usina Termelétrica de **Camaçari** encontra-se localizada no município de Dias D'Ávila, Estado da Bahia, constituída de 05 turbogeradores a gás, de fabricação da Turbodyne Corporation e Electric Machinery, com opção de operação também como compensador síncrono.

As cinco unidades geradoras têm capacidade total de 292.500 KW, utilizando como combustível óleo diesel tipo D (CHESF, 2004).

#### **2.1.15 - Usina Termoelétrica do Bongi**

A usina Termelétrica do **Bongi** encontra-se localizado na cidade do Recife, Estado de Pernambuco. O combustível básico a ser utilizado é o óleo diesel, sendo composta por 5 turbogeradores a gás de 28.494 KW cada uma, fabricados pela Westinghouse, perfazendo um total de 142.470 KW, com opção de operação como compensador síncrono (CHESF, 2004).

#### **2.1.16 - Usina Hidroelétrica de Serra da Mesa**

A usina Hidrelétrica de **Serra da Mesa**, localizada na Bacia do Alto Tocantins, em Goiás, possui grande importância no panorama energético brasileiro. Construída em parceria com a empresa privada Serra da Mesa Energia S.A., a usina é composta de 3 unidades geradoras, acionadas por

turbinas Francis, de 425.000 KW, totalizando 1.275 MW, o que significou uma solução definitiva para o atendimento às regiões do estado de Goiás e particularmente do Distrito Federal.

Esta usina é responsável pela ligação entre o sistema interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste e o Norte/Nordeste, sendo o elo da Interligação Norte-Sul. Sua barragem está situada no curso principal do rio Tocantins, no município de Minaçu (GO), a 1.790 km de sua foz e a 640 km de Brasília - DF.

O reservatório de Serra da Mesa é o maior do Brasil em volume de água, com 54,4 bilhões de m<sup>3</sup> e uma área do espelho d'água de 1.784 km<sup>2</sup> na cota operativa normal. A usina de Serra da Mesa é um projeto pioneiro em FURNAS Centrais Elétricas S.A., por ser uma usina subterrânea, e possuir controles totalmente digitalizados, promovendo uma operação coordenada de geração, aliada a um diversificado sistema de transmissão (FURNAS, 2004).

#### **2.1.17 - Usina Hidroelétrica de Cana Brava**

Com capacidade instalada de 471.600 KW, com 3 unidades geradoras acionadas por turbinas Francis, a usina Hidrelétrica de **Cana Brava** está localizada no rio Tocantins, estado de Goiás, entre os municípios de Minaçu, Cavalcante e Colinas do Sul.

Esta usina possui um reservatório a fio d'água, sendo beneficiado pelo reservatório da usina Hidrelétrica de Serra da Mesa, localizada a montante, sendo o primeiro investimento da Tractebel Energia em Goiás.

A usina tem sua concessão sob a responsabilidade da Companhia Energética Meridional - CEM, controlada pela Tractebel Energia, detentora de 100% do capital social da mesma (Tractebel, 2004).

#### **2.1.18 - Usina Hidroelétrica de Lajeado**

A usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães - **Lajeado** foi construída pela Investco S.A., consórcio formado pelo Grupo REDE, EDP, CEB e CMS Energy.

Um dos mais arrojados projetos hidrelétricos do País, a usina de Lajeado foi construída em tempo recorde (apenas 39 meses) constituindo-se num marco do Setor Elétrico, sendo o maior empreendimento de geração realizado pela iniciativa privada no Brasil.

A conclusão dessa obra, em 2001, proporcionou a independência energética do estado do Tocantins e energia excedente para o Sistema Interligado Nacional - SIN (REDE, 2004). A usina tem capacidade instalada de 902.500 KW, com 5 unidades geradoras acionadas por turbinas Kaplan.

### **2.1.19 - Usina Hidroelétrica de Tucuruí**

A usina Hidrelétrica **Tucuruí** está localizada no trecho inferior do rio Tocantins, a 350 km ao sul de Belém, capital do estado do Pará.

A bacia do rio Tocantins possui uma área de drenagem de 803.250 km<sup>2</sup>, com descarga média de 12.000 m<sup>3</sup>/s.

O rio Tocantins, cuja extensão total é de aproximadamente 2.500 km, tem origem na confluência dos rios Maranhão e das Almas (GO). Os principais afluentes da margem esquerda são os rios Araguaia e Itacaiúnas e, pela margem direita os rios Paranã, Palma, Manuel Alves da Natividade e Sono.

O reservatório de Tucuruí situa-se na região do baixo rio Tocantins (Pará). O barramento completo do rio ocorreu em 06 de setembro de 1984 e o enchimento do reservatório prolongou-se até março de 1985. O lago formado, situado na cota 72 metros, inundou uma área de 2.875 km<sup>2</sup>, da qual 25% correspondem a áreas anteriormente ocupadas pelo rio Tocantins e seus principais afluentes. Nessa cota o reservatório apresenta um perímetro de 7.700 km e possui aproximadamente 1.600 ilhas, formadas pelas terras mais elevadas que não foram inundadas.

Com a sua inauguração iniciou-se o intercâmbio com a região Nordeste e a interligação com os sistemas elétricos do Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A usina com obras para construção da segunda etapa da Hidrelétrica Tucuruí em andamento, e as 12 turbinas (tipo Francis) existentes serão acrescidas outras 11 unidades geradoras (também do tipo Francis) que juntas, irão ampliar a

capacidade de geração de 4.200 para 8.370 MW, em 2006, possibilitando o atendimento à cerca de 40 milhões de habitantes (ELETRONORTE, 2004).

## 2.2 - BACIAS HIDROGRÁFICAS

Descrevem-se abaixo as principais características das bacias hidrográficas pertencentes à área de estudo, conforme a seguir: São Francisco, Parnaíba, Tocantins - Araguaia e Atlântico Leste, como se verifica a localização destas na Figura 2.1.



Fonte: SRH, 2005

**Figura 2.1** - Mapa com a localização das bacias hidrográficas do País.

### 2.2.1- Região Hidrográfica do São Francisco

A Região Hidrográfica do rio São Francisco assume grande expressão uma vez que seu rio principal, o rio São Francisco, tem sido cenário de importantes acontecimentos históricos de dimensões regional e nacional. O rio São Francisco, também conhecido como rio de integração regional, concentra

um grande potencial hidroenergético através de suas Usinas e alguns projetos governamentais de agricultura irrigada em suas margens.

O rio São Francisco tem aproximadamente 2.700 km de extensão, sendo sua nascente histórica na Serra da Canastra em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pela Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para sudeste, chegando ao Oceano Atlântico entre Alagoas e Sergipe. Entre rios, riachos, ribeirões, córregos e veredas, são ao todo 168 afluentes, dos quais 99 são perenes e 69 são intermitentes.

A região hidrográfica abrange sete unidades da federação: Minas Gerais (36,8% da área da bacia), Distrito Federal (0,2%), Goiás (0,5%), Bahia (48,2%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,3%), Sergipe (1,1%).

O rio São Francisco possui uma área de drenagem de 636.920 km<sup>2</sup>, correspondente a 8% do território nacional. Este rio tem uma vazão média de longo período de 3.037 m<sup>3</sup>/s, vazão regularizada de 2.060 m<sup>3</sup>/s pela barragem de Sobradinho e uma precipitação média anual de 1.036 mm (SRH, 2005).

O clima do Vale é influenciado por diferentes massas de ar, apresentando baixo índice de nebulosidade e, por conseqüência, uma grande incidência da radiação solar. Em função das elevadas temperaturas médias anuais, da localização geográfica intertropical e da limpidez atmosférica na maior parte do ano, a evapotranspiração potencial é muito alta, sobretudo na parte norte do Vale. Acompanha geograficamente, a variação da temperatura, com os maiores valores anuais no submédio do rio São Francisco, onde a temperatura média anual é de 27 °C; a evaporação é da ordem de 3.000 mm anuais e o clima é tipicamente semi-árido. No trecho do baixo do rio São Francisco observa-se uma temperatura média anual é de 25 °C; a evaporação é de 2.300 mm anuais; e a precipitação média anual varia de 1.300 a 800 mm.

O elemento que mais caracteriza o clima do Vale é a pluviosidade. A conformação das isoietas segue de perto a da topografia: de um modo geral, os seus valores diminuem em direção ao leito do Rio e, ao longo deste, de montante para jusante até Pão de Açúcar onde começam a aumentar até a foz.

Em todo o Vale há um período seco bem marcado. Os mais altos valores de precipitação anual, da ordem de 1.500 mm, ocorrem nas nascentes do rio e os mais baixos, cerca de 350 mm, entre Sento Sé - BA e Paulo Afonso - BA (CODEVASF, 2005).

Segundo a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH, 2005), o aproveitamento hidrelétrico nessa região hidrográfica representa a base de suprimento de energia da região nordeste, são ao todo 33 usinas em operação, das quais nove no próprio rio São Francisco. Além da geração de energia, os barramentos também são usados para abastecimento, lazer e, principalmente, irrigação.

A demanda para irrigação responde por 69 % do total da região e área irrigada corresponde a 11% da área irrigada nacional. A agricultura é o uso atual preponderante dos recursos hídricos da região. Levantamentos indicam a existência de 35,5 milhões de hectares aptos à agricultura de sequeiro e excessivo montante de terras aptas à irrigação em relação à quantidade de água disponível para a atividade. As demandas urbana e rural representam respectivamente a 17% e 4 % da demanda total. A demanda animal representa apenas 4% da demanda total. A demanda industrial responde por 6 % da demanda total e se concentra no Alto São Francisco. As principais atividades industriais são siderurgia, mineração, química, têxtil, agroindústria, papel e equipamentos industriais (SRH, 2005).

### **2.2.2 - Região Hidrográfica do Parnaíba**

A Região Hidrográfica do Parnaíba é hidrologicamente a segunda mais importante da Região Nordeste do Brasil, após a bacia do rio São Francisco. Essa região hidrográfica é a mais extensa, dentre as vinte e cinco bacias da Vertente Nordeste.

A Região ocupa uma área de 344.112 km<sup>2</sup> , correspondente a 3,9% do território nacional, e drena quase a totalidade do estado do Piauí (99%), parte



do Maranhão (19%) e Ceará (10%). O rio Parnaíba possui aproximadamente 1.400 Km de extensão e a maioria dos afluentes localizados à jusante de Teresina são perenes e supridos por águas pluviais e subterrâneas.

O rio Parnaíba possui uma vazão média de longo período de 763 m<sup>3</sup>/s, correspondente a 0,5 % da média total do País, vazão regularizada de 440 m<sup>3</sup>/s pela barragem de Boa Esperança e uma precipitação média anual de 1.119 mm (SRH, 2005).

O clima da bacia varia de quente e úmido, no norte, passando a quente e úmido com chuvas de verão tropical, no centrosul e sudeste, e semi-árido no leste e sudeste. As precipitações variam, em geral de sudeste para nordeste entre 600 a 1.800 mm/ano, com duas estações definidas: chuvosa, de janeiro/fevereiro a maio/junho e seca, de maio/junho a dezembro. A temperatura média varia entre 24 a 38° C, em geral entre o inverno e o verão. A insolação média é de 3.000 horas de sol/ano.

O IBGE considera que a Bacia tem quatro ecossistemas bem definidos: Costeiro, Floresta Estacional, Cerrado e Caatinga, tendo o IBAMA procurado proteger áreas dentro destes ecossistemas, já tendo sido estabelecidas diversas Unidades de Conservação, entre as quais os Parques Nacionais da Serra da Capivara, das Sete Cidades e da Serra das Confusões, as Áreas de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, Serra da Tabatinga e Chapada do Araripe e a Estação Ecológica de Uruçuí-Una (CODEVASF, 2005).

Segundo a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH, 2005), em grande parte da região hidrográfica prevalece um ambiente econômico considerado estagnado e elevado índice de pobreza, associados a um quadro demográfico de baixa evolução populacional e elevada proporção de população rural (40%), relativamente à média nacional que é de 18,2%. O setor terciário é o mais expressivo, sendo que pelo menos 60% da população economicamente ativa encontra-se no setor informal da economia. Em relação ao setor primário, a estrutura produtiva regional se baseia na agricultura de subsistência e na rizicultura cultivada em áreas alagáveis. O modelo de produção agrícola de

baixa produtividade tem passado por um longo período de depressão econômica, agravado em grande medida pelas condicionantes climáticas.

A demanda de irrigação representa 64% do total da região, a área irrigada estimada corresponde a 1% da área irrigada do País. A utilização média de água por hectare é superior à média nacional e pode ser parcialmente atribuída à elevada evapotranspiração existente na região, mas se deve também ao emprego de métodos de baixa eficiência como a irrigação por inundação praticada na área litorânea e do baixo rio Parnaíba onde existe boa disponibilidade hídrica. As demandas rural e urbana correspondem respectivamente a 12% e 13 % do total. A demanda para dessedentação animal representa 10% do total e o uso industrial responde por 1% (SRH, 2005).

### **2.2.3 - Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**

A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia possui uma área de 967.059 km<sup>2</sup>, correspondente a 11% do território nacional, e abrange os estados de Goiás (26,8%), Tocantins (34,2%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%). Grande parte situa-se na região Centro-Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até a sua confluência, daí para jusante adentra na Região Norte até a sua foz.

O rio Tocantins nasce no Planalto de Goiás, a cerca de 1.000 m de altitude, sendo formado pelos rios das Almas e Maranhão. Entre seus principais afluentes, até a confluência com o rio Araguaia, destacam-se, na margem direita os rios Bagagem, Tocantinzinho, Paranã, dos Sonos, Manoel Alves Grande e Farinha e, na margem esquerda, o rio Santa Teresa.

Seu principal tributário é o rio Araguaia com 2.600 km de extensão, onde se encontra a Ilha do Bananal, a maior ilha fluvial do mundo (350 km de comprimento e 80 km de largura). Após a confluência com o rio Araguaia destaca-se o rio Itacaúnas pela margem esquerda.

A extensão total do rio Tocantins é de 1.960 km, sendo sua foz na Baía de Marajó, onde também deságuam os rios Pará e Guamá. A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia apresenta uma vazão média de 15.433 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a 9,6 % do total do País e uma precipitação anual de 1.869 mm.

O grande potencial hidrelétrico da região e sua localização frente aos consumidores da Região Nordeste, tornam a Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia prioritária para a implantação de aproveitamentos hidrelétricos. Entre as 28 centrais hidrelétricas instaladas destaca-se a usina hidro elétrica de Tucuruí, localizada no baixo Tocantins, que é responsável pelo abastecimento de energia elétrica de 96 % do estado do Pará e 99 % do Maranhão. Além da agricultura e geração de energia a região apresenta expressiva reserva de minérios, merecendo destaque o Complexo Mineral de Carajás, que atualmente representa o maior complexo de exploração mineral do País (SRH, 2005).

#### **2.2.4 - Região Hidrográfica Atlântico Leste**

A Região Hidrográfica Atlântico Leste, onde está localizada a sub-bacia do rio Contas, contemplam as capitais dos estados de Sergipe e da Bahia, alguns grandes núcleos urbanos e um parque industrial significativo, estando nela inseridos, parcial ou integralmente, 526 municípios. A área abrangida por esta região hidrográfica possui uma área de 374.677 Km<sup>2</sup>, corresponde a 4,7% do território nacional, incluindo porções dos estados do Sergipe (4%), Bahia (69%); Minas Gerais (26%) e Espírito Santo (1%).

As bacias costeiras do Atlântico Leste, no trecho situado entre Sergipe e Espírito Santo, contemplam uma enorme diversidade de rios, córregos e riachos. A diversidade fisiográfica determina, ainda, situações diferenciadas na qualidade das águas superficiais. Observa-se elevada concentração de ferro, fósforo e alumínio, além de turbidez elevada nos rios Pardo, Salinas e

Jequitinhonha, em função do garimpo e dragagem para mineração. A vazão média do conjunto das unidades hidrográficas é de 1.400 m<sup>3</sup>/s, corresponde a 1% da vazão de escoamento superficial observada no País e uma precipitação média anual de 1.053 mm.

A demanda urbana responde por 35% do total da região, estando concentrada na bacia do rio Paraguaçu, onde está localizada a cidade de Salvador. A demanda rural corresponde a 15 % do total e a demanda para uso animal aproximadamente 8 %. A área irrigada estimada representa cerca de 3% da área irrigada do País, quase a totalidade dos projetos tem caráter privado (97%) e a demanda representa 37 % do total da região.

A relação entre a demanda e a disponibilidade evidencia um certo comprometimento dos recursos hídricos da região, onde a demanda alcança mais de 100% da disponibilidade nas bacias Paraguaçu e Itapicuru, mais de 80% na bacia do rio Pardo e mais de 50% nas bacias dos rios de Contas e Itaúnas (SRH, 2005).

### **2.3 - USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS**

A engenharia de recursos hídricos integra um processo de formação de capital, no qual o recurso natural básico é a água. Quando o padrão espacial de disponibilidade não está em sintonia com as necessidades, a solução é a procura deste recurso em outras localidades ou no subsolo. De forma oposta, quando o problema é o excesso hídrico, por exemplo, no caso das cheias, a solução é obtida com a construção de estruturas para atenuar os efeitos das enchentes. A questão básica é que haja equilíbrio entre a disponibilidade hídrica e a demanda.

O padrão de qualidade dos recursos hídricos, tanto quanto de quantidade, devem ser objeto de consideração e de adequação das disponibilidades com as necessidades. O padrão de qualidade está intrinsecamente vinculado ao padrão quantitativo. Por exemplo, o comprometimento qualitativo das águas de um rio, pelo despejo de águas

servidas, pode ser atenuado tanto pelo tratamento quanto pelo aumento das vazões que podem diluir esses poluentes (TUCCI, 1993).

### **2.3.1 - Tipos e Formas de Usos dos Recursos Hídricos**

Os usos dos recursos hídricos têm se intensificado com o desenvolvimento econômico, tanto no que se refere ao aumento da quantidade da demanda para determinada utilização, quanto no que se refere à variedade dessas utilizações. Originalmente, a água era usada principalmente para dessedentação animal, usos domésticos e para usos agrícolas. Outros usos surgiram com o desenvolvimento da civilização, os quais estão inseridos em três classes:

a) Infra-estrutura social: refere-se aos usos gerais disponíveis para a sociedade, nos quais a água entra como bem de consumo final.

Exemplo: dessedentação, navegação, uso doméstico, recreação, usos públicos, amenidades ambientais, etc.

b) Agricultura, florestamento e aqüicultura: refere-se aos usos da água como bem de consumo intermediário, visando à criação de condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de espécies animais ou vegetais de interesse para a sociedade.

Exemplo: Agricultura irrigada, piscicultura, carcinicultura, uso de estuários, preservação de banhados, etc.

c) Indústria: refere-se aos usos em atividades de processamento industrial e energético, nos quais a água entra como bem de consumo intermediário.

Exemplo: Arrefecimento, mineração, hidreletricidade, processamento industrial, termoeletricidade, transporte hidráulico, etc.

Em todas as classes de uso está o transporte, diluição e depuração de efluentes.

Quanto à forma de utilização, existem três tipos:

a) Consuntivos: referem-se aos que retiram a água de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades.

b) Não-consuntivos: referem-se aos usos que retornam à fonte de suprimento, não havendo consumo, podendo, entretanto, haver modificação no seu padrão de qualidade.

c) Local: referem-se aos usos que aproveitam a disponibilidade de água em sua fonte sem qualquer modificação relevante, temporal ou espacial, de sua disponibilidade (TUCCI, 1993).

A dessedentação, usos domésticos e públicos da água se referem àqueles usos que são atendidos por sistemas de abastecimento de água. Estes sistemas são dimensionados para atender às demandas que dependem diretamente da população a ser atendida. O suprimento pode ser realizado a partir de mananciais superficiais, rios ou lagos (reservatórios) ou mananciais subterrâneos (aqüíferos).

Os padrões de qualidade para sistemas de abastecimentos de água são muito exigentes, o que determina em geral, o tratamento das águas previamente às suas distribuições e consumo em estações de tratamento de água. As águas subterrâneas podem oferecer uma alternativa qualitativamente mais adequada. A poluição de aqüíferos subterrâneos é mais facilmente evitada do que de rios e lagos, embora na despoluição destes mananciais ocorra exatamente o contrário.

Os sistemas de abastecimento de água produzem efluentes que podem ser conduzidos a sistemas de tratamento como os mais simples como: fossas sépticas ou os mais complexos como: estações de tratamento de esgotos. Um problema que ocorre com grande freqüência, deriva da ausência ou do tratamento inadequado dos esgotos. Isso acarreta a poluição fluvial, com conseqüente aumento do custo de abastecimento a usuários de jusante, seja pela necessidade de tratamento da água ou pela necessidade de suprimento em outros mananciais.

O uso da navegação relaciona-se a sistemas hidroviários. Estes sistemas têm por objetivo permitir o transporte fluvial.

No caso de recreação e amenidades ambientais os aspectos qualitativos são tão ou mais importantes do que os de ordem quantitativa, mesmo no caso em que não haja contato direto com a água.

Os usos de água na agricultura e pecuária ocorrem em estabelecimentos rurais, podendo determinar a implantação de pequenos sistemas de abastecimento com nenhum ou com simplificado sistema de tratamento. A irrigação é estabelecida para suplementar a oferta natural de água, para os cultivos, realizados pelas chuvas. Neste processo, devem ser

considerados os tipos de culturas a serem utilizados e o tipo de sistema de irrigação adotado, podendo ser exigidos menor ou maior rigor quanto às impurezas presentes no líquido.

A piscicultura corresponde ao uso não-consuntivo e/ou local, nos quais peixes são criados ou preservados para o desenvolvimento de espécies com valor comercial.

O uso industrial da água visa ao seu aproveitamento para arrefecimento de processos com geração de calor, como também para geração de energia elétrica, não havendo perdas no processo de transformação. Podendo ser utilizado como matéria prima, lavagem, produção de vapor, etc. Para cada tipo de uso variam as exigências com relação à qualidade da água.

As obras estruturais, como represas, são constituídas para fins múltiplos. Para cada uso, há necessidade de uma determinada quantidade de água, bem como de que a mesma tenha uma qualidade adequada (TUCCI, 1993).

### **2.3.2 - Conflitos de Usos dos Recursos Hídricos**

Segundo TUCCI (1993), a utilização de um reservatório para determinado fim pode prejudicar outros usos da água. São os chamados conflitos de usos. Por exemplo: a recreação pode resultar em alterações de qualidade da água, tornando-a imprópria para o consumo humano, como também uma represa construída para produção de energia e controle de enchentes tem objetivos diferentes, sendo para a primeira melhor que o reservatório esteja cheio, enquanto para a segunda é melhor que esteja vazio. Assim, os usos de uma represa devem ser disciplinados, de forma a garantir o melhor aproveitamento econômico e social da água acumulada.

A sociedade moderna ampliou a diversidade de usos da água. O quadro tornou-se complexo com o aparecimento de demandas conflitantes. Nas regiões industrializadas, de exploração mineral e de concentração populacional, existe uma degradação dos recursos hídricos, estabelecendo conflitos com aqueles usuários que demandam melhores condições qualitativas.

Em conjunto com estes conflitos ocorrem incrementos das demandas hídricas, devido ao aumento populacional, agravando o problema de

abastecimento, particularmente nas regiões semi-áridas. Outro problema é o controle de inundações, que se tornou imperativo nas regiões que sofreram o efeito simultâneo da urbanização não planejada, que impermeabilizou o solo e invadiu o leito dos rios, e do manejo do solo não adequado que assoreou os cursos de água.

Desta forma, o uso múltiplo dos recursos hídricos poderá ser uma opção inicial, mas também será uma consequência natural do desenvolvimento econômico. O grande desafio é a utilização dos recursos de forma harmônica, buscando minimizar estes conflitos (TUCCI, 1993).

Segundo DAMÁZIO (2000) a melhor forma de balancear os diversos usos tem sido através do desenvolvimento de técnicas de apoio à decisão que consideram o múltiplo uso da água no planejamento e gestão de recursos hídricos.

Tradicionalmente tem sido recomendado que estudos e análises visando o aproveitamento de recursos hídricos se façam percorrendo as seguintes etapas:

- a) Definição dos objetivos;
- b) Formulação de medidas quantitativas dos objetivos;
- c) Geração de alternativas;
- d) Quantificação das alternativas;
- e) Seleção da alternativa ótima.

Esta sistemática de análise tradicional, apesar de considerar a tomada de decisão com múltiplos objetivos, pressupõe situações ideais de problemas de decisão, onde existe um único decisor, responsável pela escolha da melhor alocação dos usos d'água.

Uma situação de conflito ocorre sempre que existe disputa entre dois ou mais grupos com poderes de decisão e interesses diversos. Um exemplo de conflitos, na área de recursos hídricos no Brasil, é a disputa pela transposição das águas do rio São Francisco onde conflitam os interesses das populações do semi-árido nordestino potencialmente beneficiário, os interesses das populações ribeirinhas que já fazem uso das águas do rio São Francisco para irrigação e consumo humano e aspiram intensificar estes usos, os interesses também potencialmente prejudicados dos principais centros urbanos



nordestinos que consomem a energia atualmente gerada no sistema de aproveitamentos hidroelétricos do rio São Francisco, e os interesses das empresas geradoras de energia elétrica que exploram este sistema e também planejam a sua expansão (DAMÁZIO, 2000).

Segundo o relatório de discussões sobre a transposição das águas do rio São Francisco da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC (2004), a principal motivação para a transferência de água entre as bacias nas regiões áridas e semi-áridas é a chamada segurança hídrica, cujo objetivo básico é aumentar o nível de garantia de suprimento de água para as atividades a que se destina. Tais ações são sustentadas no princípio geral de equidade no direito do acesso à água, principalmente no que se refere ao abastecimento humano e animal, assegurado como princípio moral e incorporado na legislação das nações.

A participação é a chave para definição das principais dimensões da aceitabilidade social do projeto. O envolvimento da sociedade, nas discussões e negociações, ajuda a incorporar, na análise dos conflitos de uso da água, aspectos sociais e ambientais. Nesse contexto, os comitês de bacias hidrográficas são os instrumentos institucional, legal e legítimo, para dirimir conflitos, consensuar pactos, devendo ter como diretrizes básicas a comunicação direta, a transparência e o respeito mútuo entre todos os envolvidos.

Segundo o relatório da SBPC (2004), em primeira instância, os conflitos associados ao uso da água da bacia do rio São Francisco devem ser mediados pelos comitês envolvidos, contribuindo para a solução dos problemas relacionados com as questões sócio-ambientais, que considerem a sustentabilidade do semi-árido, a exclusão social e hídrica, a assistência às comunidades ribeirinhas, a degradação ambiental e a revitalização da bacia.

A magnitude dos investimentos e a natureza complexa de projetos como o da transposição das águas do rio São Francisco sinalizam a necessidade de ações mais integradas e abrangentes que possam realmente levar ao desenvolvimento regional. Deve-se observar que água por si só não gera desenvolvimento, pois é preciso produzir racionalmente, implantar sistemas de escoamento da produção, capacitar e educar as pessoas, entre outras ações. Sob esta premissa, uma intervenção dessa natureza deve assumir um caráter

estruturador e estratégico, que não se limite às ações em infra-estrutura hidráulica, mas que organize, induza e condicione ações físicas e institucionais, sob as perspectivas regional e local, contribuindo, notadamente, para consolidar, nas regiões envolvidas, o princípio da gestão participativa, descentralizada e integrada (SBPC, 2004).

A revitalização da bacia do rio São Francisco constitui-se em um importante instrumento de recomposição do rio próximo de suas condições naturais, no entanto, este projeto pode ser também gerador de conflitos na definição das prioridades de suas ações. A CHESF (2003a) coloca sua visão sobre o problema da seguinte forma: O cenário que hoje se apresenta no tocante à utilização dos recursos hídricos no Brasil e na bacia do rio São Francisco aponta para a multiplicidade do seu uso de forma disciplinada, como uma condição necessária para o desenvolvimento econômico e social, haja vista ser a água um recurso natural limitado, determinante e mandatório no que diz respeito às possibilidades de produção de energia, agrícola e industrial, como também no atendimento as necessidades básicas de alimentação, dessedentação e da higienização do ser humano.

Os vários planos, programas e projetos que já foram elaborados para a bacia do rio São Francisco, demonstram que a carência está na falta de um processo de planejamento integrado em que a existência de uma coordenação reduza os esforços dispersos e conseqüente desperdício de energia, atuando de forma a implementar as ações prioritárias para a consecução do desenvolvimento sustentável da região inserida nesta bacia. O referido desenvolvimento tem como premissa fundamental um processo de revitalização e conservação dos recursos naturais existentes.

Segundo o relatório da CHESF (2003a), em todas as sub-regiões desta bacia, existem problemas ambientais, que de longa data, vêm manifestando as suas conseqüências. No trecho do Alto São Francisco, os mais sérios são a poluição provocada pelas cidades e pelo garimpo e o desmatamento da vegetação nativa, que deterioram a qualidade da água e provocam o assoreamento do rio, afetando a navegação. No Médio São Francisco há assoreamento, particularmente por conta dos desmatamentos das matas ciliares dos seus tributários para produção de grãos. No Submédio a poluição por agrotóxicos merece atenção especial, tendo em vista os problemas já

ocorridos na região. No baixo São Francisco a regularização da vazão proporcionada pelos grandes barramentos, o assoreamento, a extinção de lagoas marginais e de várzeas naturais e a redução da atividade pesqueira têm sido os principais reclamos das comunidades ribeirinhas.

Neste cenário, a revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco, por meio de providências para redução do processo de degradação do rio se torna indispensável ao desenvolvimento sustentável da região, que depende fundamentalmente da múltipla utilização de seus recursos hídricos (CHESF, 2003a).

O projeto GEF - Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em terra na Bacia do rio São Francisco (ANA, 2005), destaca algumas ações a serem atendidas:

- Definir estratégia para solução de conflitos entre os diversos usuários;
- Resolver conflitos entre a demanda para usos consuntivos e insuficiência de água em períodos críticos;
- Implementar sistemas de tratamento de esgotos domésticos e industriais;
- Racionalizar o uso da água para irrigação no Médio e Submédio São Francisco;
- Estabelecer estratégias de prevenção de cheias e proteção de áreas inundáveis;
- Definir programas para uso e manejo adequado dos solos (CHESF, 2003a).

### **2.3.3 - Leis e Decretos**

Em 1997, concretizou-se a decisão do país de enfrentar, com um instrumento inovador e moderno, a Lei Federal 9.433 (SRH, 2004), o desafio de equacionar a demanda crescente de água para fazer face ao crescimento urbano, industrial e agrícola, os potenciais conflitos gerados pelo binômio disponibilidade/demanda e o preocupante avanço da degradação ambiental de rios e lagos. Foi definida, então, a Política Nacional de Recursos Hídricos e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em 2000,

consolidou-se a ampla reforma institucional do setor de recursos hídricos, através da Lei 9.984, que criou a ANA - Agência Nacional de Águas. A atual pressão sobre os recursos hídricos resulta do crescimento populacional e econômico, traduzindo-se nas expressivas taxas de urbanização verificadas nos últimos anos, aliado à ocorrência de cheias e secas e à degradação do meio ambiente hídrico, que atingem cada vez maiores contingentes populacionais.

A intenção de reformar o sistema de gestão de recursos hídricos brasileiro começou a tomar corpo ao longo da década de 80, com o reconhecimento, por parte de setores técnicos do governo, de que era chegado o momento de se proceder à modernização do setor, o qual vinha funcionando com base no Código de Águas de 1934. Não obstante ser o referido código um importante marco jurídico para o país, inclusive tendo permitido a notável expansão do sistema hidroelétrico brasileiro, nunca se realizou a sua efetiva implementação. As ações que o seguiram tiveram objetivos exclusivamente setoriais e nunca foram regulamentadas, a exemplo dos artigos que se referiam ao uso múltiplo e à conservação da qualidade da água.

Com a promulgação da Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, tem início uma nova era e, em decorrência, cresceram os desafios. Trata-se, agora, de substituir as discussões sobre o modelo de gestão e partir para o desafio de sua implementação. Esses desafios não são poucos. Esta lei traz, como fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos, a conceituação da água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais e cuja gestão tem como unidade territorial à bacia hidrográfica (ANA, 2002).

Segundo o conjunto de normas editadas pela Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (2004), o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecido pela Lei 9.433, deve cumprir os seguintes objetivos:

- Coordenar a gestão integrada das águas;
- Arbitrar administrativamente os conflitos ligados ao uso da água;
- Implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;

- Promover a cobrança pelo uso da água.
- Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:
- O Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
  - Os Conselhos de Recursos Hídricos dos estados e do Distrito Federal;
  - Os Comitês de Bacia Hidrográfica;
  - Os Órgãos de governo cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
  - As Agências de água (SRH - PE, 2004).

Outra característica importante do sistema é a importância dada à participação pública. Garantiu-se a participação de usuários e da sociedade civil em todos os plenários por ele constituídos, desde o Conselho Nacional de Recursos Hídricos até os Comitês de Bacia Hidrográfica, como forma de legitimar a decisão e também garantir sua implementação.

Fazem parte dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- A garantia na forma de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- A utilização racional e integrada dos Recursos Hídricos, incluindo a navegação, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- A prevenção e a defesa contra eventos críticos, de origem natural ou decorrente do uso integrado dos recursos hídricos.

Dentre as principais inovações introduzidas pela Lei 9.433/97 está o estabelecimento claro, quase didático, dos instrumentos que devem ser utilizados para viabilizar a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I. Planos de Recursos Hídricos;
- II. Enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes;
- III. Outorga de direitos de uso dos recursos hídricos;
- IV. Cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- V. Compensação aos Municípios;
- VI. Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SRH - PE, 2004).

#### 2.3.4 - Proposição de Modelos

À exceção da região semi-árida do Nordeste (AZEVEDO, 1998), o Brasil é considerado um país muito rico em água. Essa situação se modificou muito nos últimos 30 anos. A evolução dos padrões demográficos e o tipo de crescimento econômico observado no Brasil aumentaram a pressão sobre os recursos hídricos, provocando situações de escassez de água ou de conflitos de utilização em várias regiões do País. No mesmo período, houve progressiva piora das condições de qualidade das águas dos rios que atravessam cidades e regiões com intensas atividades industriais, agropecuárias e de mineração. Assim, em situações onde não havia restrições de natureza quantitativa, a piora na qualidade da água tem inviabilizado seu uso para determinados fins. Esta é a situação nos grandes centros urbanos brasileiros em diferentes regiões do país.

Segundo AZEVEDO (1998), um dos maiores desafios para engenheiros e técnicos responsáveis pelo planejamento e operação de sistemas de aproveitamento de recursos hídricos, é fornecer quantidades adequadas de água com qualidade apropriada e no momento certo para atender os seus múltiplos usos. Embora do ponto de vista teórico não haja grande dificuldade em se integrar o gerenciamento de quantidade e qualidade, na prática esta integração é raramente alcançada, representando um grande obstáculo para a operação eficiente de sistemas e a utilização racional dos recursos hídricos.

A separação histórica na análise dos aspectos de quantidade e qualidade da água é tão antiga quanto a própria hidrologia. Entretanto, a variável aleatória de quantidade seja esta observada como uma série contínua ou apresentada em intervalos discretizados, é a portadora das propriedades de qualidade e deve ser considerada como componente essencial dos processos físicos envolvidos na análise dos aspectos qualitativos.

Em qualquer estudo destinado à simulação por computador dos processos físicos que ocorrem em sistemas naturais, os valores dos parâmetros utilizados pelos modelos são, em realidade, “valores esperados” com um grau de incerteza associado. O grau de incerteza de cada parâmetro pode ser inferido através da análise de dados históricos, e é também função da

capacidade do modelo em representar os processos físicos. O Sistema Integrado de Qualidade e Quantidade de Água - SIQQA, proposto por AZEVEDO (1998), permite que estas incertezas sejam contabilizadas, através da incorporação de técnicas destinadas à análise e interpretação estatística dos resultados, permitindo que se associe a cada previsão uma probabilidade de ocorrência e um intervalo de segurança em torno do valor estimado.

Neste trabalho, durante o estudo de sensibilidade ficaram evidentes algumas tendências das variáveis de qualidade da água, em função do tipo de ano hidrológico e do mês em questão, uma vez que fatores climatológicos têm impacto direto no comportamento de parâmetros e, por consequência, nas variáveis de qualidade da água (AZEVEDO, 1998).

Neste trabalho procura-se associar a variação das vazões e cotas dos reservatórios em função dos parâmetros físico-químicos definidores do estado de qualidade da água, com o fim de obter informações das condições de utilização da água, atendendo aos limites estabelecidos pelos órgãos normativos, como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução 20 de 18 de julho de 1986, onde foram estabelecidos os critérios de classificação dos corpos d'água para todo o território Nacional.

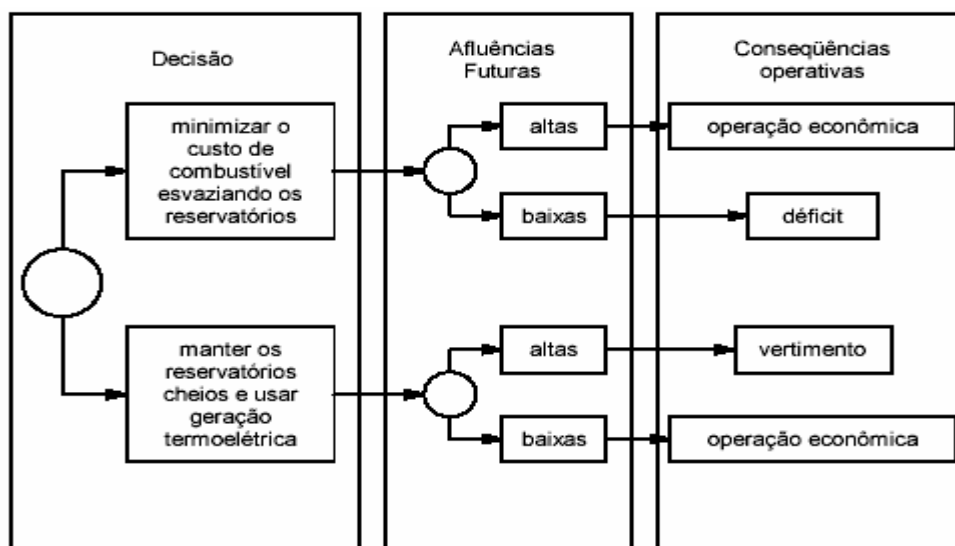
## **2.4 - MODELOS ANALISADOS**

Apresenta-se, a seguir, uma análise comparativa entre os modelos computacionais pesquisados para o gerenciamento de sistemas hidrotérmicos, com o objetivo básico de obter as metas de operação de cada usina do sistema, seja hidrelétrica ou termelétrica, de forma a atender à demanda e minimizar o valor esperado do custo de operação, ao longo do período de planejamento. Desta forma, procurou-se verificar qual seria o melhor modelo que se adaptaria às finalidades propostas para o gerenciamento de sistemas hidrelétricos, com o fim de atender aos usos múltiplos e aspectos de qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis.

Conforme descrito no manual de referência do modelo DECOMP (CEPEL, 2001b), os sistemas com uma porcentagem substancial de geração hidroelétrica podem utilizar a energia armazenada "grátis" nos reservatórios do

sistema para atender à demanda, substituindo assim a geração dispendiosa das unidades termoelétricas.

Entretanto, o volume de água afluente aos reservatórios é desconhecido, pois depende basicamente das chuvas que irão ocorrer no futuro. Além disso, a disponibilidade de energia hidroelétrica é limitada pela capacidade de armazenamento nos reservatórios. Isto introduz uma relação entre uma decisão de operação em uma determinada etapa e as conseqüências futuras desta decisão. Por exemplo, se for decidido utilizar as provisões de energia hidroelétrica para atender o mercado atual e no futuro ocorrer uma seca, pode vir a ser necessário utilizar geração termoelétrica de custo elevado, ou mesmo, interromper o fornecimento de energia. Por outro lado, se for definido por fazer uso mais intensivo de geração termoelétrica, conservando elevados os níveis dos reservatórios e ocorrerem vazões altas no futuro, poderá haver vertimento no sistema, o que representa um desperdício de energia e, em conseqüência, um aumento desnecessário no custo de operação, conforme ilustrado na Figura 2.2.



Fonte: CEPEL, 2001b

**Figura 2.2** - Processo de decisão para sistemas hidrotérmicos.

Segundo o manual do modelo DECOMP (CEPEL, 2001b), o problema de planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos possui características que podem ser assim resumidas:



- a) Acoplamento no tempo, ou seja, é necessário avaliar as conseqüências futuras de uma decisão no presente. A solução ótima é um equilíbrio entre o benefício presente do uso da água e o benefício futuro de seu armazenamento, medido em termos da economia esperada dos combustíveis das unidades térmicas;
- b) A este problema dinâmico se agrega o problema da irregularidade das vazões afluentes aos reservatórios, que variam sazonalmente e regionalmente. Ademais, as previsões das afluições futuras são, em geral, pouco precisas. A incerteza com respeito às vazões, aliada à incerteza com respeito à demanda de energia, faz do planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos um problema essencialmente estocástico, ou seja, determinado pelas leis probabilísticas e aleatórias;
- c) Acoplamento no espaço, ou seja, há interdependência na operação de usinas hidroelétricas, pois a quantidade de água liberada em uma usina afeta a operação de outra situada a jusante;
- d) O valor da energia gerada por uma hidroelétrica somente pode ser medido em termos da economia resultante nos custos de geração térmica ou déficits evitados e não diretamente como uma função apenas do estado da usina;
- e) Os objetivos de economia de operação e confiabilidade de atendimento são claramente antagônicos: a máxima utilização da energia hidroelétrica disponível a cada etapa é a política mais econômica, pois minimiza os custos de combustível. Entretanto, esta política é a menos confiável, pois resulta em maiores riscos de déficits futuros. Por sua vez, a máxima confiabilidade de fornecimento é obtida conservando o nível dos reservatórios o mais elevado possível. Entretanto, isto significa utilizar mais geração termoelétrica e, portanto, aumentar os custos de operação. O equilíbrio entre os custos de operação e a confiabilidade é obtido através do custo do déficit, que representa o impacto econômico associado à interrupção do fornecimento. A determinação do custo do déficit é um problema muito complexo, porém fundamental para a determinação da política de operação mais adequada para o sistema. Se o custo do déficit é muito baixo, resulta em uma utilização excessiva dos reservatórios e, portanto, em maiores riscos de racionamento no futuro. Se o custo de déficit é muito alto, resulta em uma utilização excessiva dos recursos termoelétricos do sistema e, portanto, em custos de operação elevados.

A existência de interligações com os sistemas vizinhos permite uma redução dos custos de operação, através do intercâmbio de energia e um aumento da confiabilidade de fornecimento, através da repartição das reservas.

Para obter os ganhos operativos máximos de um sistema hidrotérmico interligado, é necessário operar o sistema de maneira integrada, isto é, otimizando conjuntamente a operação de todos os subsistemas, com o objetivo de minimizar o custo de operação total (CEPEL, 2001b).

#### **2.4.1 - Modelo SIMONE**

Segue descrição do modelo SIMONE, conforme apresentado no Manual de Metodologia do referido modelo (CHESF, 2001):

O SIMONE - Modelo Simulação Energética do Norte/Nordeste é um simulador de usinas individualizadas, idealizado para atender às necessidades dos sistemas interligados Norte e Nordeste. Desenvolvido na CHESF, em 1989, foi posteriormente aprovado pelo GCOI - Grupo Coordenador da Operação Interligada para simulações do Norte/Nordeste e CCON - Comitê Coordenador de Operação Norte/Nordeste, que elaboram estudos de planejamento e programação energética, para diferentes cenários de mercado e previsões de afluências, atendendo restrições operacionais definidas e premissas de operação (CCON, 1996).

O SIMONE é utilizado em simulações de longo ou médio prazo, com horizonte de até 05 (cinco) anos, com discretização mensal, e simulações de curto prazo, com horizonte mensal e discretização semanal. O modelo permite determinar estratégias de atendimento energético, para os sistemas Norte e Nordeste, nestes horizontes de estudo.

Este modelo utiliza técnicas heurísticas de simulação, ou seja, baseado em um conjunto de regras e métodos que conduzem ao atendimento da função objetivo, permitindo obter soluções próximas do ponto ótimo, considerando-se a experiência do simulador e as restrições atendidas.

Visando garantir total compatibilidade com o OPUS - Modelo de Simulação das usinas Individualizadas (ELETROBRÁS, 1990a) e SUI - Simulação a Usinas Individualizadas (ELETROBRÁS, 1990b), com utilização no GCOI em âmbito do SCEN - Subcomitê de Estudos Energéticos, foram

utilizadas no SIMONE, as mesmas representações e definições do OPUS, para os sistemas físicos, tais como: reservatórios, usinas, geradores e turbinas, etc. Desta forma, além da aderência aos critérios de representação vigentes, tem-se, a partir de premissas determinadas, compatibilidade dos resultados obtidos (CHESF, 2001).

O modelo SIMONE tem sua maior utilização nas simulações do PMO - Programa Mensal de Operação, que apresenta um horizonte de 01 (um) mês, com discretização semanal. Nestas simulações, são utilizadas previsões de vazão afluentes aos reservatórios das regiões Norte e Nordeste.

As simulações de médio e longo prazo, utilizando discretização semanal ou mensal, com horizonte de até 01 (um) ano, são elaboradas para estudos de planejamento da operação, visando definir estratégias de evolução dos principais reservatórios das regiões Norte e Nordeste, bem como o atendimento energético neste horizonte.

Outro tipo de estudo utiliza o histórico de vazões aos reservatórios, em simulações mensais de médio e longo prazo, obtendo estudos probabilísticos de atendimento energético, permitindo análises de todos os cenários ocorridos anteriormente ou apenas com uma parte deste histórico.

O último tipo de simulação utiliza percentuais da M.L.T (Média de Longo Termo) do histórico de vazões, para simulações mensais de médio e longo prazo, obtendo estudos de atendimento energético, para cenários com tendências de evolução do quadro de afluições definidas.

As duas regiões, Norte e Nordeste, bem como as restrições de intercâmbio entre elas podem ser estudadas em conjunto, quando se utiliza a representação total do modelo. Nesta representação, podem-se utilizar todos os tipos de simulação, igualmente definidos para as duas regiões.

Pode-se também utilizar apenas uma das regiões (Norte ou Nordeste), para realização de simulações específicas, onde o objetivo é analisar apenas o atendimento energético desta região, a um nível de intercâmbio determinado. A configuração das usinas hidráulicas para as duas regiões é definida, sem possibilidade de alteração ou estudos específicos (CHESF, 2001).

O modelo SIMONE permite uma política de intercâmbio. O intercâmbio entre regiões é definido inicialmente com limites (inferior e superior), utilizando políticas que permitem elevar o intercâmbio num determinado sentido.

Baseados no armazenamento equivalente dos principais reservatórios de cada região, sendo possíveis alterações automáticas ao longo do período de simulação. Esta política de intercâmbio está baseada num critério heurístico.

O modelo SIMONE utiliza como política de operação para o atendimento do balanço energético mensal ou semanal do mercado de energia, as seguintes fontes de recursos: geração de pequenas usinas, autoprodutores, térmica, corte de carga e déficit, intercâmbio da outra região e geração das principais usinas de cada região.

Caso haja vazão afluyente superior à necessária para atendimento das demandas requeridas, o sistema aumentará seu armazenamento final, seguindo a curva-guia específica das próximas faixas de volume. Esta evolução poderá continuar até o enchimento total dos reservatórios de uma região.

Por outro lado, caso a vazão afluyente seja inferior à necessária para atendimento das demandas, o sistema reduzirá seu armazenamento final, seguindo a curva-guia específica das próximas faixas de volume. Este deplecionamento poderá continuar até o esvaziamento total dos reservatórios de uma região, com conseqüente déficit no atendimento energético, caso as demandas ainda não tenham sido atendidas.

A política de intercâmbio estará modificando os valores desta variável, nos dois casos acima, ajustando um novo valor de intercâmbio, aos novos valores de armazenamento das regiões (CHESF, 2001).

#### **2.4.2 - Modelo NEWAVE**

Segue descrição do modelo NEWAVE, conforme apresentado no Manual de Metodologia do referido modelo (CEPEL, 2001a):

O NEWAVE é um Modelo Estratégico de Geração Hidrotérmica a Subsistemas Equivalentes. O NEWAVE resolve os problemas de planejamento da operação interligada de sistemas hidrotérmicos, empregando a técnica de programação estocástica. Esta técnica permite considerar o intercâmbio entre os subsistemas como uma variável de decisão, usar um modelo comum de vazões sintética e calcular os custos marginais do sistema. O objetivo do planejamento da operação de um sistema hidrotérmico é determinar metas de

geração para cada usina do sistema, a cada etapa, que atendam à demanda e minimizem o valor esperado do custo de operação. O modelo é utilizado para um amplo espectro de estudos de planejamento, como: informações sobre o consumo de combustível; estudos de políticas comerciais; estudos de política tarifária; estudos de política de racionamento; estudos de gerenciamento da demanda e realimentação ao planejamento da expansão.

Segundo o manual do modelo NEWAVE (CEPEL, 2001a), este é composto por quatro módulos computacionais:

a) Módulo de Cálculo do Sistema Equivalente - Calcula os subsistemas equivalentes de energia: energias armazenáveis máximas, séries históricas de energias controláveis e energias a fio d'água, energia evaporada, capacidade de turbinamento, correção da energia controlável em função do armazenamento, perdas por limite de turbinamento nas usinas a fio d'água, geração hidráulica máxima e energia associada ao desvio de água à montante de uma usina hidroelétrica.

b) Módulo de Energias Afluentes - Estima os parâmetros do modelo estocástico que trabalha com a adoção de critérios probabilísticos em diversas etapas do planejamento e operação de sistemas hidrotérmicos, criando a necessidade da modelagem probabilística de afluências a locais de aproveitamentos hidro elétricos. Nos estudos energéticos os critérios de atendimento ao mercado são baseados em índice de risco, estimados a partir da simulação da operação energética do sistema para diversos cenários de afluência aos aproveitamentos hidro elétricos, gerando séries sintéticas de energias afluentes que são utilizadas no módulo de cálculo da política de operação hidrotérmica e para geração de séries sintéticas de energias afluentes, para análise de desempenho no módulo de simulação da operação, sendo estas séries geradas através de uma série conhecida utilizando métodos de cálculos probabilísticos.

c) Módulo de Cálculo da Política de Operação Hidrotérmica - Determina a política de operação mais econômica para os subsistemas equivalentes, levando em conta as incertezas nas afluências futuras, os patamares de demanda e a indisponibilidade das máquinas geradoras.

d) Módulo de Simulação da Operação - Simula a operação do sistema ao longo do período de planejamento, para distintos cenários de seqüências hidrológicas, falhas dos componentes e variações da demanda. Calcula índices de desempenho, tais como a média dos custos de operação, dos custos marginais, o risco de déficit, os valores médios de energia não suprida, de intercâmbio de energia e de geração hidroelétrica e térmica (CEPEL, 2001a).

### **2.4.3 - Modelo DECOMP**

Segue descrição do modelo DECOMP, conforme apresentado no Manual de Metodologia do referido modelo (CEPEL, 2001b):

O DECOMP realiza o planejamento e operação a médio prazo. Aplica-se no planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos e está adaptado ao ambiente de elaboração dos programas mensais de operação do sistema brasileiro. Seu objetivo é determinar as metas de geração de cada usina de um sistema hidrotérmico sujeito às afluições estocásticas, de forma a atender a demanda e minimizar o valor esperado do custo de operação ao longo do período de planejamento. O Modelo está formulado como um problema de programação linear, representando as características físicas e as restrições operativas das usinas hidroelétricas de forma individualizada (CEPEL, 2005).

Segundo o manual do modelo DECOMP (CEPEL, 2001b), este emprega a metodologia de PDE - Programação Dinâmica Estocástica que é baseada no fornecimento, a cada iteração, de limites superior e inferior para a solução ótima, permitindo um balanço entre o esforço computacional e a precisão desejada, como também apresenta o problema da otimização decomposta em uma sucessão de subproblemas de um único período considerado na simulação. No modelo de otimização desenvolvido estão incorporadas as seguintes características para operação do sistema hidrotérmico: cenários de afluição, representação de patamares de carga, restrições elétricas, limites de interligação entre subsistemas, geração em bacias especiais, geração mínima em classes térmicas, contratos de importação/exportação de energia, cronograma de manutenção, tempo de viagem da vazão defluente dos aproveitamentos, evaporação, vazão defluente mínima, penalidade para vertimento em reservatórios, volume de espera para amortecimento de cheias,

configuração dinâmica, enchimento de volume morto, produtividade variável, alteração de dados do cadastro de usinas hidráulicas e revisão da política do mês inicial (CEPEL, 2001b).

#### **2.4.4 - Modelo SUIISHI**

Segue descrição do modelo SUIISHI, conforme apresentado no Manual de Metodologia do referido modelo (CEPEL, 2001c):

O SUIISHI é um modelo de simulação de usinas Individualizadas de Subsistemas Hidrotérmicos Interligados. O modelo pode: simular até cinco subsistemas hidrotérmicos eletricamente interligados em malha, mas hidráulicamente independentes; ser acoplado a um modelo de decisão estratégica como NEWAVE; considerar múltiplos usos de água como irrigação, vazão mínima para navegação e abastecimento de água e controle de cheias; simular múltiplas séries hidrológicas em paralelo. O SUIISHI designa um conjunto de sub-rotinas que simula a operação mensal de cada subsistema puramente hidrelétrico. Este modelo reproduz o processo de decisão adotado na prática, para se estabelecer quais os turbinamentos e armazenamentos finais de cada usina hidrelétrica, de forma a atender à meta de geração total do subsistema (CEPEL, 2005).

Segundo o manual do modelo SUIISHI (CEPEL, 2001c), o sistema de geração é constituído por usinas hidroelétricas e termelétricas. As usinas hidroelétricas podem ser de dois tipos: a fio d'água, quando seu volume armazenado não varia, ou com reservatório, quando apresenta uma significativa capacidade de regularização. Denominam-se usinas termelétricas todas as demais usinas geradoras (nuclear, carvão, gás, óleo, diesel, biomassa, etc.) que possam ser representadas por uma capacidade máxima e um custo unitário de geração constante, sem nenhuma restrição adicional sobre sua disponibilidade. O déficit de energia costuma ser representado como um caso particular de usina termelétrica de alto custo e capacidade ilimitada.

O sistema de transmissão é representado de forma simplificada tendo em vista a aplicação do modelo primordialmente em estudos de planejamento energético. Desta forma, levam-se em conta apenas as grandes limitações de intercâmbio de energia entre certas regiões ou subsistemas, que passam a

constituir os chamados subsistemas interligados. Dentro de um subsistema, considera-se que o sistema de transmissão não limita o atendimento ao mercado de energia, o que possibilita agregar todas as cargas elétricas em um único mercado de energia do subsistema, bem como, as gerações das diversas usinas em uma única geração total de energia do subsistema. A limitação de intercâmbio de energia entre dois subsistemas pode ser diferente em cada sentido, mas não pode depender nem da disponibilidade de equipamentos nem do valor da geração ou do mercado no período em questão, razão pela qual sugere-se adotar valores conservadores para estes limites.

O mercado consumidor de energia de um subsistema é representado por uma curva de permanência de carga com até três patamares, que representa de forma simplificada a variação do consumo total do subsistema ao longo de um período de tempo.

No modelo SUISEI, considera-se ainda que os subsistemas devem ser hidráulicamente independentes, ou seja, não pode haver transferência de água entre eles, o que restringe naturalmente a definição de subsistemas (CEPEL, 2001c).

A Tabela 2.2 apresenta um quadro comparativo dos modelos analisados neste trabalho, onde são apresentadas suas principais características.



**Tabela 2.2 - Comparativo entre os modelos analisados.**

MODELO	ACESSO AO PROGRAMA FONTE	REGIÕES INTERLIGADAS	TIPO DE SIMULAÇÃO	HORIZONTE DE SIMULAÇÃO	TIPO DE OPERAÇÃO		PERMITE INCLUIR RETIRADA
<b>SIMONE</b>	Sim	Norte/Nordeste	Usinas individualizadas	Até 5 (cinco) anos	Definida pelo usuário		Não
<b>NEWAVE</b>	Não	Todas as regiões	Usina equivalente	Até 20 (vinte) anos	Operação em paralelo		Sim
<b>DECOMP</b>	Não	Todas as regiões	Usinas individualizadas	Até 1 (um) ano	Definida pelo usuário		Sim
<b>SUSHI</b>	Não	Todas as regiões	Usinas individualizadas	Até 5 (cinco) anos	Definida pelo usuário		Sim

MODELO	DISCRETIZAÇÃO	MODELO MATEMÁTICO	ANÁLISE POR REGIÕES	OPERAÇÃO COM TÉRMICAS	PERMITE ALTERAÇÕES DE CONFIGURAÇÃO	ENCHIMENTO DE VOLUME MORTO	ANÁLISE ECONÔMICA
<b>SIMONE</b>	Mensal / Semanal	Heurísticas	Sim	Pré - despachada	Sim	Não	Não
<b>NEWAVE</b>	Mensal	Otimização estocástica	Sim	Define despacho	Sim	Sim	Sim
<b>DECOMP</b>	Mensal / Semanal	Otimização estocástica	Sim	Define despacho	Sim	Sim	Sim
<b>SUSHI</b>	Mensal	Otimização estocástica	Sim	Define despacho	Sim	Sim	Sim

## 2.5 - PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Verificou-se que para cada tipo de uso e utilização são feitas exigências quanto aos limites de impurezas na água. Alguns usos requerem elevados padrões sanitários. Outros limitam a presença de elementos que possam influir mais no aspecto estético. Existem, ainda, aqueles que fazem restrições quanto à existência de produtos químicos que possam danificar equipamentos e instalações.

Assim, a qualidade desejada para determinado recurso hídrico vai depender dos usos para os quais o mesmo se destina.

Para cada uso da água, são exigidos limites máximos de impurezas que a mesma pode conter. Estes limites, quando estabelecidos por organismos oficiais, são chamados de padrões de qualidade.

As exigências para uma água destinada ao consumo humano são diferentes das relativas às águas a serem usadas em irrigação ou recreação. Estas, por sua vez, devem atender a requisitos diferentes dos exigidos para a água que se destina apenas ao uso estético ou ao afastamento e diluição de despejos.

Os organismos públicos podem estabelecer critérios ou condições a serem atendidos pelos mananciais, em função dos usos aos quais os mesmos se destinam. Nesses casos, é feita uma classificação das águas sendo, para cada classe, definidos os usos a que se destina e os critérios ou condições a serem observados.

Por outro lado, os órgãos podem também estabelecer limites de impurezas a serem observados na água, após sua retirada dos mananciais e passagem por um processo de tratamento. Um exemplo deste caso são os padrões de potabilidade, ou seja, as condições a que uma água deve satisfazer para ser utilizada pelo homem, geralmente após passar por um sistema de tratamento.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº. 20, de 18 de junho de 1986, estabeleceu a nova classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, através da definição de nove classes, segundo seus usos preponderantes (MOTA, 1995).

## 2.6 - CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

Segundo MOTA (1995), as represas são construídas com o objetivo de proporcionar benefícios econômicos e sociais ao homem. Assim, elas podem destinar-se a vários usos, tais como: abastecimento d'água (humano, industrial e outros), recreação, irrigação, aproveitamento hidrelétrico, pesca, piscicultura, navegação, aproveitamento das margens (agricultura de vazantes, chácaras) e diluição de despejos.

Em alguns casos, as represas têm a função de acumulação-regularização, contribuindo para amortecer as cheias, normalizando as vazões dos cursos d'água. No Nordeste do Brasil, existem represas que, além de outras finalidades, proporcionam a regularização de vazões de rios a jusante, os quais, normalmente, seriam secos nas épocas de estiagem.

Para cada uso, há necessidade de uma determinada quantidade de água, bem como de que a mesma tenha uma qualidade adequada. As represas destinadas ao abastecimento humano, por exemplo, devem acumular uma quantidade de água suficiente para garantir o consumo pela população, além de proporcionar uma qualidade de água a nível de potabilizável.

A utilização de uma represa para determinado fim pode prejudicar outros usos da água. São os chamados conflitos de usos. Por exemplo, a recreação pode resultar em alterações de qualidade da água, tornando-a imprópria para consumo humano. O aproveitamento das margens pode ocasionar a produção de resíduos (detritos produzidos pelas atividades humanas, pesticidas, fertilizante), os quais alcançando a água tornam-na inadequada para alguns usos. Até mesmo alguns usos recreacionais são incompatíveis de ocorrerem na mesma área, tais como, banhos e barcos, ou banhos e pesca, ou ainda, barcos e pesca.

Assim, os usos de uma represa devem ser disciplinados de forma a garantir o melhor aproveitamento econômico e social da água acumulada.

Esse disciplinamento deve considerar as necessidades da população e ser feito através da definição dos usos prioritários do manancial, do estabelecimento de critérios de qualidade da água para esses usos, e da adoção de medidas de controle da qualidade do líquido (MOTA, 1995).

## 2.7 - VARIAÇÃO DA QUALIDADE E QUANTIDADE DA ÁGUA

O intenso uso de água e a poluição gerada, segundo REBOUÇAS (2002), contribuem para agravar sua escassez e resulta na necessidade crescente do acompanhamento das alterações da qualidade da água. Faz parte do gerenciamento dos recursos hídricos o controle ambiental, de forma a impedir que problemas decorrentes da poluição da água venham a comprometer seu aproveitamento múltiplo e integrado, e de forma a colaborar para a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente. Ultimamente, novos problemas ambientais têm sido detectados numa velocidade muito maior do que a nossa capacidade de resolver os velhos problemas já conhecidos. É necessário entender os processos ambientais, para que se avance no conhecimento sobre os ecossistemas e para que se possa atuar corretamente sobre as causas das alterações encontradas. Isso somente é possível quando se dispõe de um conjunto de informações confiáveis obtidas a partir de observações do que está ocorrendo no meio. É assim que os sistemas de monitoramento de qualidade da água devem ser entendidos e planejados.

O conceito de monitoramento da qualidade da água é muito mais amplo do que o simples verificar se os padrões legais de qualidade da água estão sendo obedecidos ou não. Deve atender à necessidade de se responder o que está sendo alterado e por que estas modificações estão ocorrendo. O gerenciamento da qualidade da água precisa dessas respostas para que as ações tomadas sejam eficientes na redução dos danos ao meio ambiente, atuais e futuros. Não basta coletar os dados no campo. É importante que se estabeleçam formas de utilização desses dados coletados, permitindo que essas informações sejam úteis ao gestor dos recursos hídricos e à sociedade e que delas resulte um passo a mais no conhecimento dos processos da natureza.

O Brasil é um país com poucos sistemas de monitoramento de qualidade da água e que, portanto, dispõe de uma quantidade bastante pequena de informações sobre o estado de seus corpos de água, principalmente face às suas dimensões continentais, diferenças geográficas regionais e magnitude dos problemas de poluição. Existem poucas redes instaladas com coleta

sistemática de dados e, mesmo no caso de campanhas mais específicas quanto a objetivo e local, também não há grande disponibilidade.

Este fato indica a necessidade do País desenvolver sua tecnologia de redes de monitoramento de qualidade da água e reconhecer a importância desse investimento para melhorar e ampliar seus bancos de informações no setor de recursos hídricos (REBOUÇAS, 2002).

## **2.8 - PROBLEMAS DE QUALIDADE DA ÁGUA**

A qualidade da água de represas, conforme descreve MOTA (1995), pode ser alterada devido a processos naturais que ocorrem como consequência das mudanças ambientais provocadas pela inundação de áreas, ou por causa da introdução de poluentes na água resultantes das atividades desenvolvidas pelo homem na bacia hidráulica e hidrográfica.

As principais alterações que podem ocorrer em uma represa, contribuindo para afetar a qualidade da água, são:

- Decomposição da massa vegetal, resultando no consumo do oxigênio e na eutrofização da água;
- Salinização da água, devido à acumulação de sais carreados do solo ou de rochas, ou como resultado da evaporação da água da represa;
- Decantação de sedimentos, com o consequente assoreamento;
- Presença de elementos nocivos, existentes em materiais inundados ou introduzidos pelo homem: matéria orgânica, nutrientes, produtos químicos tóxicos, microrganismos patogênicos. Esses elementos podem resultar em problemas, tais como o consumo de oxigênio, a eutrofização ou a contaminação da água;
- Introdução de óleos, graxas, dejetos, sabões, lixo e outros materiais, como consequência da utilização da água ou de suas margens.

A decomposição da vegetação inundada em uma represa ocorre com o consumo de oxigênio presente na água. Esta demanda provoca, muitas vezes, condições de baixo teor de oxigênio dissolvido, com consequências negativas para a vida aquática do reservatório ou a jusante do mesmo. Esta

decomposição resulta, também, na liberação de nutrientes, contribuindo para o processo de eutrofização da água.

Têm sido comuns os casos em que o afogamento da vegetação de áreas de represas tem resultado na putrefação da mesma, tornando a água imprópria para alguns usos, devido à redução do teor de oxigênio dissolvido, formação de lodo orgânico, coloração acentuada, desprendimento de gases malcheirosos, proliferação de microrganismos indesejáveis, abundância de vegetação aquática, entre outros problemas.

Embora muitas dessas alterações sejam temporárias, perdurando na fase de enchimento e durante alguns anos seguintes, em função das características de cada represa, certos problemas podem ser tornar permanentes, ou de solução muito lenta, como o da eutrofização da água.

Além da decomposição da vegetação, a eutrofização pode resultar de cinzas provocadas pela queima das matas existentes na área, pela inundação de áreas onde foram aplicados fertilizantes, ou devido à introdução, na água, de esgotos ou outras formas de resíduos contendo nutrientes.

O represamento da água contribui para a elevação de sua salinidade, principalmente devido ao processo de evaporação do líquido, o qual resulta numa maior concentração de sais na mesma.

O material carregado pelas águas de enxurradas contribui para o aumento da turbidez da água e a sua sedimentação provoca o assoreamento dos reservatórios. Este assoreamento ocorre naturalmente, mas pode ser acelerado quando aumenta o processo de erosão do solo às margens do reservatório.

A poluição da água de reservatórios pode ser resultante das atividades desenvolvidas nas áreas marginais ou realizadas na própria água, bem como da inundação de fossas, currais, pocilgas, cemitérios, ou outros focos de impurezas. Estas atividades externas, realizadas na bacia contribuinte do reservatório, quando não controladas, podem resultar no lançamento de poluentes na água, na forma de esgotos domésticos e industriais, lixo, pesticidas, fertilizantes, ou outras impurezas (MOTA, 1995).

Segundo BRANCO & ROCHA (1997), as modificações generalizadas causadas à hidrologia, geologia e paisagem concorrem para provocar alterações nas características físicas e químicas da água. Quando o solo não

apresenta sua proteção natural, este fica exposto aos raios solares, à deposição de poeiras e à ação de agentes de erosão, como a chuva e o vento. Alteram-se, assim, as condições biogeológicas naturais do terreno.

Essa situação torna-se mais drástica na época das chuvas, quando é maior a quantidade de material carregado para o lago. O assoreamento que em represas normalmente já é intenso, obriga em certos rios represados a um trabalho permanente de dragagens, onerando o seu aproveitamento. Além deste assoreamento, as partículas de sedimentos que chegam à água provocam um aumento no índice de cor e de turbidez que diminuindo a transparência, dificultam ou impedem a penetração da luz necessária às reações de fotossíntese do plâncton.

A modificação da correnteza que se torna mais lenta cria massas de água com temperaturas das camadas superficiais mais elevadas do que a temperatura média de água do rio. Dependendo da profundidade, há a possibilidade de ocorrer uma estabilização térmica e química, condicionando a seleção de seres característicos das faixas ou camadas de estratificação.

O acúmulo de sais minerais, causado pela introdução de despejos industriais ou incrementado pelo barramento dos rios, pode levar a eutrofização e ao aparecimento da "poluição osmótica", em que organismos não adaptados morrem por perda de água, como se houvessem sido transportados do ambiente aquático para o terrestre. A presença de certos tipos de despejos eventualmente acumulados em lagos pode afetar acentualmente o pH, influenciando negativamente a fauna e flora aquática.

A decomposição da matéria orgânica traz como resultante principal a eliminação parcial ou total do oxigênio dissolvido na água, o qual é consumido nas reações bioquímicas de estabilização de matéria biodegradável. Taxas de oxigênio dissolvido inferiores a 1,0 mg/L são prejudiciais à maioria dos seres aquáticos (BRANCO & ROCHA, 1977).

## 2.9 - FATORES FÍSICO - QUÍMICOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

Conforme descrito por VON SPERLING (1998), para subsidiar as análises das variáveis físico-químicas, descreve-se abaixo o conceito e a importância de cada parâmetro definido como determinante para viabilizar esta análise:

### 2.9.1 - Temperatura

**Conceito:** Medição da intensidade de calor.

**Importância:**

- Elevações da temperatura aumentam a taxa das reações químicas e biológicas, considerando a faixa usual da temperatura;
- Elevações da temperatura diminuem a solubilidade dos gases, por exemplo, o oxigênio dissolvido;
- Elevações da temperatura aumentam a taxa de transferência de gases, podendo gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.2 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

**Conceito:** Representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$  (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14.

**Importância:**

- É importante em diversas etapas do tratamento da água (coagulação, desinfecção, controle da corrosividade, remoção da dureza);
- Valores de pH baixo: corrosividade e agressividade nas águas de abastecimento;
- Valores de pH elevado: possibilidade de incrustações nas águas de abastecimento;



- Valores de pH afastados da neutralidade: podem afetar a vida aquática, como exemplo os peixes e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.3 - Alcalinidade

**Conceito:** Quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. É uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, ou seja, capacidade de resistir às mudanças de pH: capacidade tampão. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonados ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e os hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). A distribuição entre as três formas na água é função do pH.

#### **Importância:**

- Não tem significado sanitário para a água potável, mas em elevadas concentrações confere um gosto amargo para a água;
- É uma determinação importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações, bem como no tratamento de esgotos, quando há evidências de que a redução do pH pode afetar os microrganismos responsáveis pela depuração (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.4 - Dureza

**Conceito:** Concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais freqüentemente associados à dureza são os cátions divalentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A dureza pode ser classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion com a qual ela está associada. A dureza correspondente à alcalinidade é denominada dureza carbonato, enquanto que as demais formas são caracterizadas como dureza

não carbonato. A dureza carbonato é sensível ao calor, precipitando-se em elevadas temperaturas.

**Importância:**

- Não há evidências de que a dureza cause problemas sanitários, e alguns estudos realizados em áreas com maior dureza indicaram uma menor incidência de doenças cardíacas;
- Em determinadas concentrações, causa um sabor desagradável e pode ter efeitos laxativos;
- Reduz a formação de espuma, implicando num maior consumo de sabão;
- Causa incrustação nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à maior precipitação nas temperaturas elevadas (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.5 - Cloretos

**Conceito:** Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os cloretos (Cl<sup>-</sup>) são advindos da dissolução de sais, como exemplo, o cloreto de sódio.

**Importância:**

- Em determinadas concentrações imprime um sabor salgado à água.

### 2.9.6 - Nitrogênio

**Conceito:** Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: (a) nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>), escapando para a atmosfera, (b) nitrogênio orgânico, dissolvido e em suspensão, (c) amônia (NH<sub>3</sub><sup>+</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), (d) nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e (e) nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

**Importância:**

- O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, processo denominado eutrofização;
- O nitrogênio, nos processos bioquímicos de conversão da amônia em nitrito e deste o nitrato, implica no consumo e oxigênio dissolvido do meio, podendo afetar a vida aquática;
- O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes;
- O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos;
- Os processos de conversão do nitrogênio têm implicações na operação das estações de tratamento de esgotos;
- Em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição, de forma que uma poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.7 - Fósforo

**Conceito:** O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) dependem do pH, sendo a mais comum na faixa usual de pH o  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo. O fósforo orgânico é normalmente de menor importância.

**Importância:**

- O fósforo não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento;

- O fósforo é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos;
- O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.8 - Oxigênio Dissolvido

**Conceito:** O oxigênio dissolvido (OD) é de essencial importância para os organismos aeróbios, ou seja, aqueles que vivem na presença de oxigênio. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbias, ou seja, ausência de oxigênio, com geração de maus odores.

**Importância:**

- O oxigênio dissolvido é vital para os seres aquáticos aeróbios;
- O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (VON SPERLING, 1998).

### 2.9.9 - Condutividade Elétrica

**Conceito:** A condutividade mede a capacidade da água conduzir corrente elétrica, que por sua vez é função da concentração de íons dissolvidos na água

**Importância:**

Estes fornecem a informação da ordem de grandeza das concentrações iônicas na água. Os íons que mais contribuem para a condutividade elétrica das águas doces são os descritos a seguir: sódio, cálcio, magnésio, cloretos

carbonatos, bicarbonatos e sulfatos, denominados de macronutrientes na limnologia (LIRA, 2000).

#### **2.9.10 - Transparência**

**Conceito:** Indica a presença de material em suspensão de natureza inorgânica, orgânica ou biológica.

**Importância:**

Verifica-se que é possível não somente avaliar a transparência da água, como também inferir sobre o processo de eutrofização de um lago. Esse parâmetro pode ser utilizado para calcular o coeficiente vertical de atenuação da radiação, bem como, na ausência de equipamentos mais adequados, avaliar a extensão da zona eufótica, que é a porção iluminada da coluna d'água e cuja extensão depende da capacidade do meio de atenuar a radiação subaquática.

A radiação subaquática influencia tanto na quantidade de energia disponível para a fotossíntese, como na disponibilidade de nutrientes através da estratificação da coluna d'água e, havendo estratificação térmica, observa-se variação vertical dos valores de condutividade (LIRA, 2000).

#### **2.9.11 - Clorofila**

**Conceito:** É um dos principais elementos responsáveis pela fotossíntese.

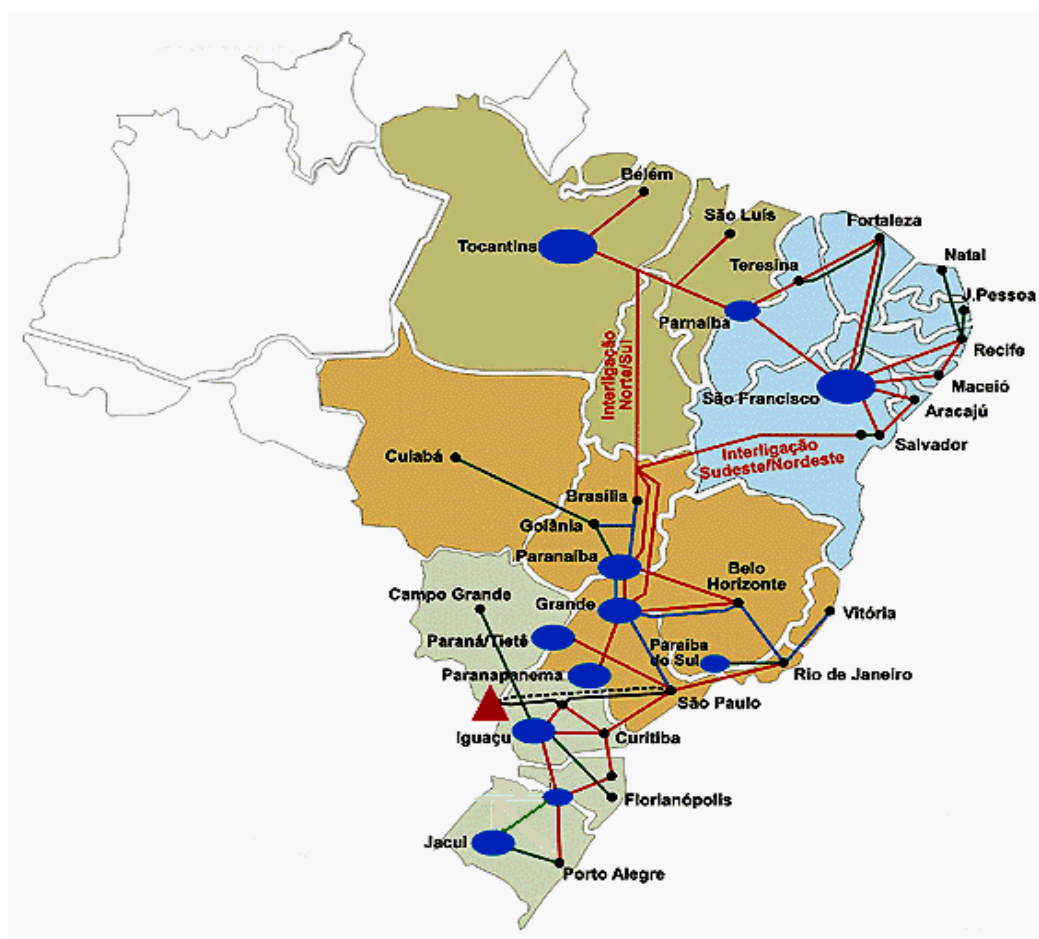
**Importância:** O conhecimento de sua concentração pode dar indicações da biomassa do fitoplâncton (algas). Influenciando também na penetração de luz, na produção de nutrientes, em sua transparência e, conseqüentemente, na quantidade de oxigênio dissolvido (GUIMARÃES, 1998).

## CAPÍTULO 3.0

### PROPOSTA METODOLÓGICA

#### 3.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é composta das usinas pertencentes ao SIN - Sistema Interligado Nacional nas regiões Norte e Nordeste (ONS, 2004b), conforme Figura 3.1.



Fonte: ONS, 2004b.

**Figura 3.1** - Mapa do sistema interligado entre as regiões do Brasil, destacando as principais bacias hidrográficas que contribuem com o atendimento ao mercado consumidor de energia.



## **3.2 - SUB-ROTINAS DO MODELO SELECIONADO**

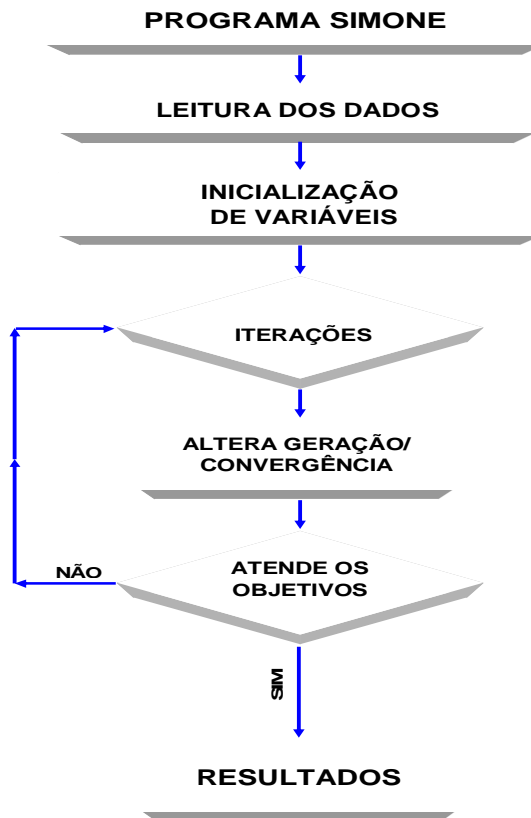
O modelo computacional que mais se aproxima dos objetivos propostos foi o SIMONE, por ser um simulador de usinas individualizadas, com um horizonte de simulação de até 5 anos, possuindo discretização mensal ou semanal e utiliza em sua metodologia de cálculo técnicas heurísticas de simulação, além de ser o único no qual a CHESF é a proprietária do modelo, sendo portanto, possível o acesso ao programa fonte, trazendo também vantagens em realizar alterações, embora este modelo tenha várias limitações em relação aos demais, tais como: não realiza análise econômica, não considera o enchimento do volume morto, não define despacho para as usinas termoeletricas, não permite a inclusão de retirada por outros usos e realiza as simulações somente com as regiões Norte e Nordeste.

A principal sub-rotina chama-se SIMONE, que realiza a simulação otimizada dos sistemas Norte e Nordeste, dividindo-se em duas sub-rotinas: SIMUNE e SIMUNO que realiza a simulação dos aproveitamentos dos sistemas Nordeste e Norte, respectivamente.

### **3.2.1 - Fluxogramas**

O modelo SIMONE realiza as simulações conforme fluxograma geral (Figura 3.3) onde apresenta as principais funções do modelo, a saber: leitura dos dados, inicialização de variáveis, realização das iterações, alteração da geração objetivando atender à convergência dos dados, verificação do atendimento aos objetivos e apresentação dos resultados.





**Figura 3.3** - Fluxograma geral do modelo SIMONE.

Descreve-se no anexo 8.1 a lista de sub-rotinas do modelo SIMONE. A Figura 3.4 mostra como o referido modelo relaciona estas sub-rotinas:

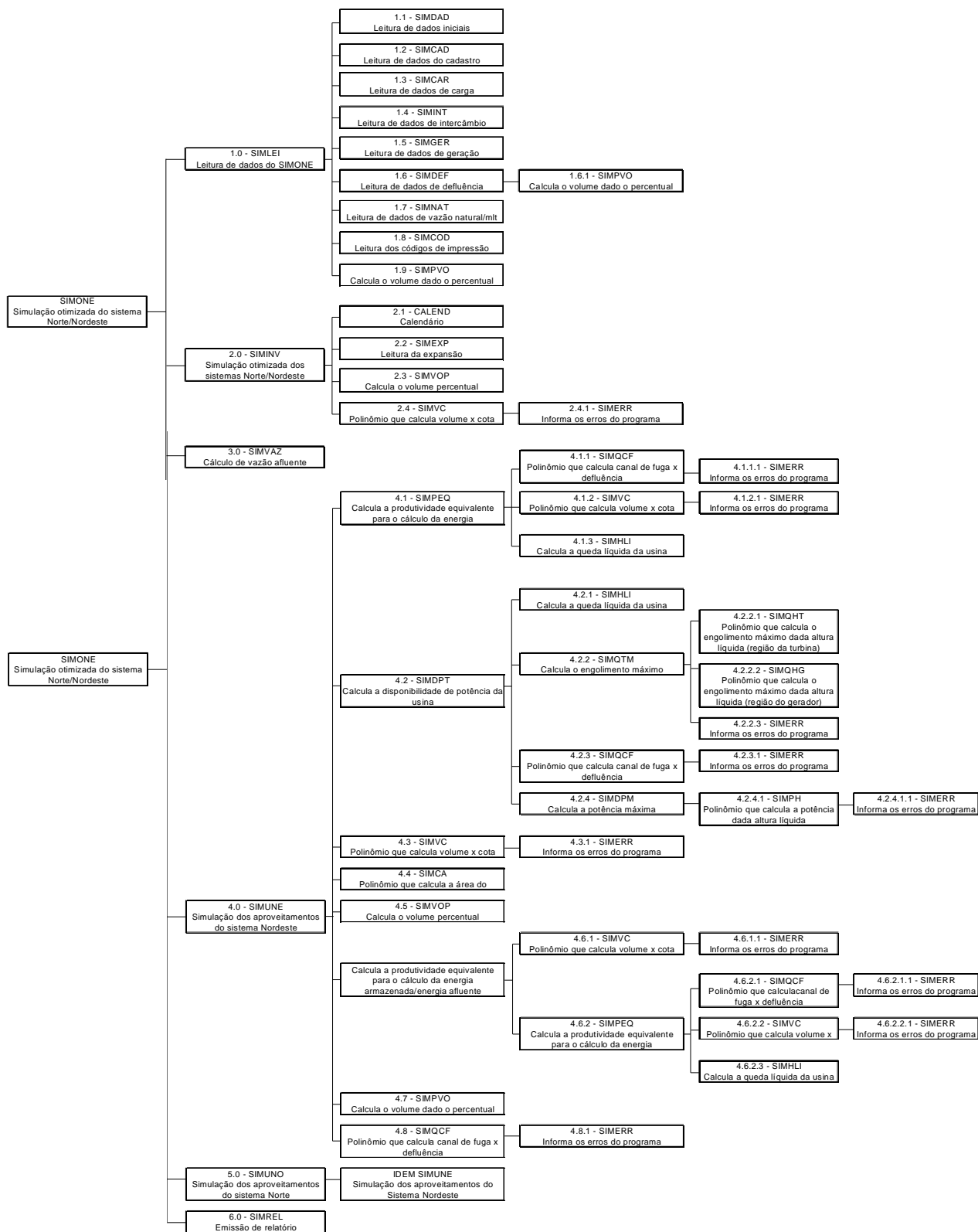


Figura 3.4 - Fluxograma detalhado do modelo SIMONE.

### 3.2.2 - Funcionalidades do Modelo

O SIMONE foi desenvolvido na linguagem FORTRAN com o objetivo de simular os aproveitamentos para atender às necessidades do sistema interligado Norte e Nordeste. Este modelo tem sua maior utilização nas simulações do PMO - Programa Mensal de Operação. O referido programa apresenta as seguintes funcionalidades (CHESF, 2001):

- Utiliza os dados cadastrais das usinas pertencentes ao sistema Norte/Nordeste;
- Estabelece a carga definida pelo usuário das concessionárias, energia própria e autoprodutores de energia, como também o corte de carga no sistema;
- Permite definir as condições iniciais para a simulação, tais como: tipo de discretização: mensal ou semanal; tipo de definição de vazão afluente: histórico, média de longo termo (MLT) ou previsão de vazão; dia, mês e ano de início da simulação; número de períodos e configurações iniciais, tal como: volumes iniciais dos reservatórios;
- Considera o intercâmbio entre as regiões Norte/Nordeste, definindo os limites máximos e mínimos com possibilidades de alterações automáticas ao longo do período de simulação;
- Permite o estabelecimento dos limites máximos e mínimos de vazões defluentes e de geração das usinas;
- Considera o incremento de carga através das usinas termelétricas, não sendo possível realizar alterações automáticas ao longo do horizonte de simulação;
- Considera as informações referentes à expansão do sistema;
- Considera o fenômeno de evaporação no reservatório, em função do espelho d'água, definido a partir da cota média de cada período de simulação ou a partir de um vetor de vazões evaporadas pré-estabelecido;

- Considera o tempo de viagem da água entre os reservatórios pertencentes à cascata nas simulações;
- Considera ao longo do período de discretização, a energia disponível referente às vazões afluentes a cada reservatório. Estas podem ser obtidas em função dos dados históricos, MLT (Média de Longo Termo) ou previsão previamente calculada;
- Permite a determinação da curva-guia equivalente para a operação do reservatório;
- Considera o reservatório de Três Marias da CEMIG como pertencente à região Nordeste, para efeito de simulação, pois esta pertence à cascata do rio São Francisco, mas não para efeito de geração, pois a mesma gera para o sistema Sudeste;
- Considera no cálculo da potência disponível as indisponibilidades programadas e forçadas das usinas hidrelétricas (IP e TEIF);
- Considera a existência de até 02 (dois) conjuntos de unidades geradoras com características diferentes numa mesma usina;
- Considera as perdas hidráulicas existentes no sistema de transformação de energia;
- Calcula a produtividade equivalente de cada empreendimento, em função da altura líquida do período simulado;
- Calcula a disponibilidade de potência máxima das usinas pertencentes à cascata, em função da altura líquida;
- Calcula o engolimento máximo ou a máxima defluência vertida e turbinável, em função da altura líquida nas regiões da turbina e do gerador;
- Calcula o volume útil, área e volume percentual em função da cota do reservatório;
- Calcula o nível do canal de fuga, em função da defluência estabelecida pela produtividade e cota do reservatório de jusante;
- Realiza a otimização heurística das usinas pertencentes à cascata das regiões Norte/Nordeste. A simulação é feita de forma individualizada e em paralelo atendendo às restrições de cada usina do sistema. Nas usinas a fio

d'água, a operação é realizada em função da defluência da usina de montante, de forma que a defluência seja aproximadamente igual à afluência;

- Realiza simulação com discretização semanal ou mensal, indicando a variação de volume e, conseqüentemente da cota da água armazenada nos reservatórios;
- Permite a análise de uma das regiões (Norte ou Nordeste) para realizações de simulações específicas, onde o objetivo é analisar o atendimento energético desta região a um nível de intercâmbio determinado;
- Emite relatório com os resultados das simulações e balanços de geração entre as usinas envolvidas no sistema Norte/Nordeste, incluindo as informações de intercâmbio;
- Define o formato do relatório de saída, tais como balanço energético e hidráulico;
- Apresenta as variações das vazões turbinadas e vertidas ao longo do período de simulação;
- Apresenta a estatística das principais variáveis energéticas do sistema Norte/Nordeste, como por exemplo: intercâmbio médio, geração térmica média, geração hidráulica média, etc;
- Apresenta, nas simulações realizadas, o valor do déficit ou superávit de energia, caso exista;
- Fornece, nas simulações, a energia defluente turbinável, como também a energia vertida: turbinável e não turbinável, para efeito de controle da cascata;
- Apresenta a variação da produtividade de cada usina, como a variação de potência máxima disponível (CHESF, 2001).

### 3.3 - IMPLEMENTAÇÕES NO MODELO

O objetivo das modificações no modelo é permitir que o mesmo possa simular usinas individualmente para atender as necessidades do sistema interligado Norte e Nordeste observando os aspectos de qualidade e quantidade, buscando atender aos diversos usuários. Além disso, deve permitir realizar simulações nos reservatórios para atendimento da demanda de produção de energia, como também de retirada de água com discretização mensal ou semanal.

Em função do exposto, foram implementadas as seguintes modificações e melhorias:

I) Considerar na realização das simulações a produtividade de cada usina do sistema;

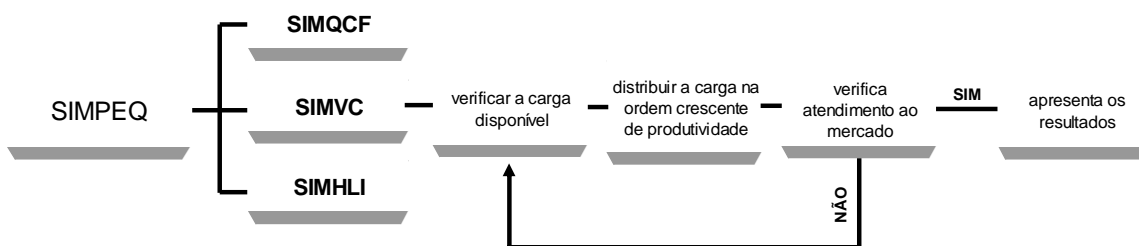
a) Dados de entrada:

- Cálculo da produtividade.

b) Dados de saída:

- Atendimento à demanda do mercado de energia, realizando a simulação priorizando a usina que apresentar melhor produtividade, obedecendo às restrições pré-estabelecidas.

c) Rotina de execução (Figura 3.5):



**Figura 3.5** - Rotina de execução considerando a produtividade das usinas.

II) Considerar a retirada de água dos diversos usuários tais como: abastecimento humano, irrigação, abastecimento industrial, entre outros usos.

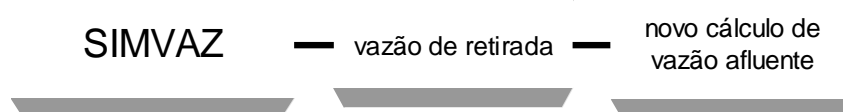
a) Dados de entrada:

- Vazão de retirada de água dos diversos usuários no período de simulação.

b) Dados de saída:

- Cálculo da vazão afluyente a cada reservatório considerando as retiradas de água através dos diversos usuários.

c) Rotina de execução, conforme mostra a Figura 3.6:



**Figura 3.6** - Rotina de execução considerando a retirada de água dos diversos usuários.

III) Considerar os pontos de lançamentos de efluentes domésticos, industriais e outros;

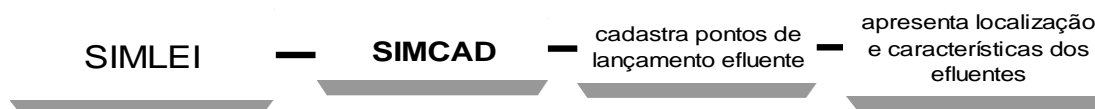
a) Dados de entrada:

- Dados cadastrais de pontos de lançamento de efluentes: localização, origem e vazão.

b) Dados de saída:

- Cadastro dos pontos de lançamento de efluentes.

c) Rotina de execução, como pode ser verificado na Figura 3.7:



**Figura 3.7** - Rotina de execução considerando pontos de lançamentos de efluentes.

IV) Considerar pontos de captação dos diversos usuários: abastecimento humano, irrigação e abastecimento industrial;

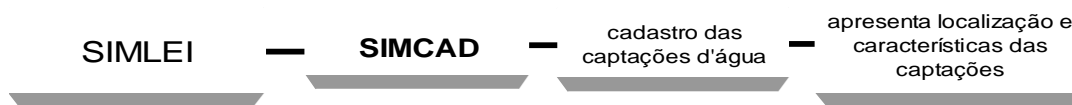
a) Dados de entrada:

- Dados cadastrais dos pontos de captação dos usuários: localização, finalidade, capacidade de vazão, proprietário, área, coordenadas, número de bombas, número de animais/habitantes e tipo de cultura.

b) Dados de saída:

- Cadastro dos pontos de captação de água dos diversos usuários.

c) Rotina de execução (Figura 3.8):



**Figura 3.8** - Rotina de execução considerando os pontos de captação dos diversos usuários.

V) Realizar as simulações dos reservatórios, observando o atendimento aos usuários pertencentes à borda do lago, em relação aos aspectos qualitativos referente aos limites máximo e mínimo permitido pela Resolução do CONAMA nº. 20 (MOTA, 1995) para utilização destes recursos;

a) Dados de entrada:

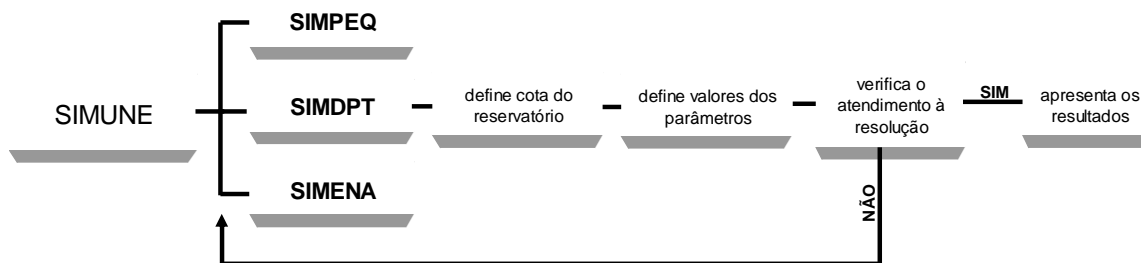
- Definição dos limites máximos e mínimos dos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água, de acordo com a Resolução CONAMA nº. 20, para atendimento aos usuários pertencentes à borda do lago.

b) Dados de saída:

- Realização da simulação e definição da cota do reservatório ao final de cada período simulado. Verifica o valor correspondente dos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água, como também o atendimento aos limites do CONAMA.

c) Rotina de execução, conforme mostra a Figura 3.9:





**Figura 3.9** - Rotina de execução considerando aspectos qualitativos referente aos limites estabelecidos pelo CONAMA.

VI) Permitir uma visualização e impressão gráfica das variações temporais de níveis a montante e a jusante dos reservatórios, vazões afluentes e defluentes, volumes percentuais, produtividade, potência disponível, energias: afluentes, turbinadas, vertidas e intercâmbio entre os sistemas.

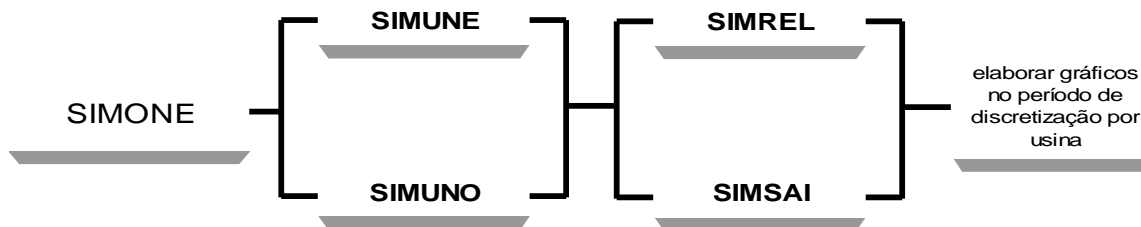
a) Dados de entrada:

- Condições iniciais da simulação, limites e restrições, valores de intercâmbio, valores de energia disponível, demandas e informações sobre expansão do sistema.

b) Dados de saída:

- Níveis dos reservatórios, vazões afluentes/defluentes, volumes percentuais, variação de produtividade e potência disponível, demandas e informações sobre expansão do sistema.

c) Rotina de execução, como pode ser verificado na Figura 3.10:



**Figura 3.10** - Rotina de execução considerando uma visualização e impressão gráfica das variações temporais.

### 3.4 - DADOS NECESSÁRIOS À APLICAÇÃO DO MODELO

Descreve-se, neste capítulo, a metodologia de obtenção dos dados necessários à aplicação do Modelo de Simulação Energética do Sistema Interligado Nacional (SIN), quais sejam: os usos consuntivos nas bacias dos Sistemas Norte/Nordeste, a obtenção da reconstituição das séries de vazões naturais e incrementais, as regras de operação das cascatas, os cálculos de vetores de evaporação e as restrições hidráulicas.

#### 3.4.1 - Histórico dos Usos Consuntivos

O principal documento de referência para a metodologia discriminada a seguir é o relatório do Operador Nacional do Sistema (ONS) intitulado: Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água nas Principais Bacias do SIN, (ONS, 2003a).

Neste documento, tratou-se de estimar as séries das vazões de retirada, de retorno e de consumo para atividades de uso consuntivo da água, para cada município das bacias incrementais que compõem a área de interesse. Esta estimativa abrangeu a evolução histórica das séries, no período de 1931 a 2001.

Consideraram-se vazões de retirada, de retorno e de consumo definidas como:

- Vazão de retirada - vazões captadas nos municípios e agregadas para as bacias de contribuição de cada aproveitamento hidrelétrico (incluindo, também, as captações nos próprios reservatórios), para atividades de uso consuntivo da água;
- Vazão de retorno - vazões lançadas nos municípios e agregadas para as bacias de contribuição de cada aproveitamento hidrelétrico, decorrentes de despejo de parcela remanescente da vazão de retirada para atividades de uso consuntivo da água (parcela não consumida da vazão de retirada);
- Vazão de consumo - diferenças entre as vazões de retirada e de retorno, nas bacias de contribuição de cada aproveitamento hidrelétrico, para atividades de uso consuntivo da água (parcela consumida da vazão de retirada).

As categorias de uso consuntivo abordadas por este estudo foram:

- Irrigação;
- Abastecimento urbano;
- Abastecimento rural;
- Criação animal;
- Abastecimento industrial (ONS, 2003a).

Segue abaixo a metodologia adotada para a obtenção dos referidos dados:

### **3.4.2 - Estimativa das Séries de Vazões para Irrigação**

Conforme descrito no relatório do ONS (2003a), neste tipo de uso, foram estimadas as vazões de retirada, consumo e retorno relacionado à irrigação dos cultivos. Estas vazões são função do balanço hídrico das áreas irrigadas, dos aspectos inerentes à espécie cultivada e ao tipo de irrigação e das condições de manejo aplicadas.

Os parâmetros necessários para a obtenção da vazão de retirada para irrigação, conforme as metodologias aqui empregadas foram:

- Área Irrigada ( $A_i$ );
- Evapotranspiração real das culturas ( $ET_{rc}$ ) e potencial ( $ET_{pc}$ );
- Precipitação efetiva ( $P_{ef}$ );
- Eficiência de Aplicação ( $E_a$ ) dos sistemas de irrigação.

Utilizaram-se como fonte principal de informação os Censos Agropecuários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que disponibilizam a área total irrigada por município a partir de 1960, período que coincide com o início da expansão da prática da irrigação no Brasil.

Os dados a respeito de outorgas da Agência Nacional de Águas (ANA) e das instituições estaduais de recursos hídricos, ainda não completos, serviram apenas como informações complementares. Eles foram utilizados basicamente para análise dos valores de área irrigada dos municípios sede dos grandes perímetros públicos de irrigação e, posteriormente, já na fase de cálculo das vazões, para comparação dos resultados obtidos com as vazões outorgadas.

Deve-se destacar que os cadastros de outorga têm um enfoque diferente do aqui proposto. Em geral, eles buscam retratar a demanda máxima ou demanda de projeto de cada usuário, e não o seu regime real de utilização de água.

Na definição dos valores de vazões para irrigação foi considerado o calendário de colheita representando a divisão da área total colhida no Estado para cada cultura nele presente, nos meses nos quais ocorreram as colheitas.

Na determinação da evapotranspiração foi considerado como a ocorrência simultânea da evaporação e da transpiração de uma comunidade vegetal de pequeno porte que cobre totalmente o solo (ONS, 2003a).

Segundo GOMES (1999), o consumo de água do conjunto solo-planta, conhecido também como uso consuntivo da planta ou necessidade hídrica da cultura corresponde à quantidade de água que passa à atmosfera em forma de vapor, pela evaporação do solo e transpiração das plantas, mais a quantidade d'água que é incorporada à massa vegetal. Essa quantidade que é retida pela planta, que se denomina água de constituição, é muito pequena com relação à água evaporada e transpirada, e por isto se considera que a necessidade de água da planta ou do conjunto solo-planta é igual à água que é transferida para a

atmosfera pela evaporação do solo e transpiração das plantas. O conjunto dos dois fenômenos (evaporação mais transpiração) é denominado evapotranspiração da cultura.

Existem três formas ou conceitos de evapotranspiração da cultura, geralmente empregados, que são:

- Evapotranspiração real ou efetiva ( $ET_r$ ): Quantidade de água realmente consumida por uma cultura determinada (conjunto solo-cultura) em um intervalo de tempo considerado. A taxa de evapotranspiração real da cultura depende, dentre outros fatores, do conteúdo de umidade efetivamente existente no solo.
- Evapotranspiração potencial ou máxima ( $ET_p$ ): Quantidade de água consumida, em um determinado intervalo de tempo, pela cultura em plena atividade vegetativa, livre de enfermidades, em um solo cujo conteúdo de água se encontra próximo à capacidade de campo. A  $ET_p$  é maior ou igual do que a evapotranspiração real.
- Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ): É a taxa de evapotranspiração de uma superfície de vegetação rasteira, verde uniforme, de crescimento ativo, de 8 a 15 centímetros de altura, que sombreia totalmente o terreno cultivado, em um solo dotado de suficiente quantidade de água.

Para se obter o máximo rendimento da cultura irrigada é necessário que a quantidade de água realmente consumida pelas plantas ( $ET_r$ ) se aproxime ao máximo à quantidade que consumiria a cultura considerada, em suas condições mais favoráveis ( $ET_p$ ). Portanto, a obtenção das necessidades hídricas das culturas se baseia na determinação da evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_p$ ), que habitualmente se denomina apenas evapotranspiração da cultura.

A necessidade hídrica de uma cultura, que pode ser considerada igual à evapotranspiração máxima ( $ET_p$ ), depende basicamente do clima e do tipo de cultura:

- Clima: Os aumentos da insolação, da temperatura, ou da velocidade do vento contribuem para uma maior  $ET_p$ , enquanto que o aumento da umidade atmosférica atenua a taxa de evapotranspiração da cultura;
- Tipo de cultura e seu estado de desenvolvimento: Quando maior for à densidade de plantas e da zona radicular, a evapotranspiração potencial tende a ser maior. Em geral, durante o ciclo fenológico, a planta aumenta seu consumo progressivamente até a floração e frutificação, quando começa a diminuir, e logo se estabiliza.

Para cada fase de crescimento da cultura existe a seguinte relação:

$$K_c = \frac{ET_p}{ET_o} \quad (3.1)$$

Onde:

$K_c$  = coeficiente de cultivo;

$ET_p$  = evapotranspiração potencial da cultura considerada;

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, medida no lugar da cultura considerada.

O coeficiente  $K_c$ , para cada tipo cultura, assume valores distintos segundo a fase de crescimento da cultura. Segundo GOMES (1999), o coeficiente  $K_c$  varia também em função do tipo de cultura e de seu período vegetativo de desenvolvimento das plantas:

- Período 1: Desde o momento da sementeira até o ponto em que a cultura alcança aproximadamente 15% do seu desenvolvimento;
- Período 2: Fase que se inicia no final do período 1 e termina em um ponto imediatamente antes da floração;
- Período 3: Fase de floração e frutificação;
- Período 4: Fase de maturação, compreendida entre o final do período 3 e a colheita (GOMES, 1999).

Conforme descrito no relatório do ONS (2003a), os valores de  $K_c$  adotados são médios e referem-se às culturas sob condições ótimas de manejo, atingindo taxas de crescimento potencial.

Os valores de umidade do solo foram considerados através de um coeficiente ( $K_s$ ) definido por um valor de 0,81 para irrigação por aspersão e 0,88 para irrigação localizada (ANA, 2005).

A estimativa da precipitação efetiva ( $P_{ef}$ ), ou seja, a parte da precipitação que é utilizada pela cultura para atender à sua demanda evapotranspirométrica foi obtida em função da precipitação mensal bruta observada e a evapotranspiração potencial da cultura, conforme mostra a Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Valores de precipitação efetiva em função da evapotranspiração potencial mensal da cultura e da precipitação mensal.

Precipitação mensal (mm)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200	
Precipitação efetiva mensal (mm)																	
$ET_{pc}$ mensal (mm)	25	8	16	24													
	50	8	17	25	32	39	46										
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
	150	10	21	31	39	49	57	86	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

Para correção da precipitação efetiva em função da umidade do solo ( $\Delta S$ ) foi adotado para este um valor médio de 75 mm (Tabela 3.2). Cabe destacar que a adoção de um valor médio para  $\Delta S$  é uma simplificação que não representa erro significativo, pois em muitos casos, este é inferior ao embutido na totalização mensal dos valores lidos de precipitação.

**Tabela 3.2** - Fator de correção da precipitação efetiva em função da variação da umidade inicial do solo.

$\Delta S$ (mm)	Fator	$\Delta S$ (mm)	Fator	$\Delta S$ (mm)	Fator
10,00	0,620	31,25	0,818	70,00	0,990
12,50	0,650	32,50	0,826	75,00	1,000
15,00	0,676	35,00	0,842	80,00	1,004
17,50	0,703	37,50	0,860	85,00	1,008
18,75	0,720	40,00	0,876	90,00	1,012
20,00	0,728	45,00	0,905	95,00	1,016
22,50	0,749	50,00	0,930	100,00	1,020
25,00	0,770	55,00	0,947	125,00	1,040
27,50	0,790	60,00	0,963	150,00	1,060
30,00	0,808	65,00	0,977	175,00	1,070

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

Segundo o relatório do ONS (2003a), em relação à eficiência de aplicação tem-se a considerar que os métodos de irrigação podem apresentar diferentes níveis de eficiência a depender da uniformidade de distribuição das lâminas de irrigação, da condição de localização de aplicação dessas lâminas, das características dos emissores e da interferência das condições climáticas (perdas nos sistemas e por evaporação), entre outros fatores.

A eficiência de aplicação adotada foi de 0,71 para irrigação por aspersão e 0,79 para irrigação localizada (ANA, 2005).

O cálculo da vazão de retirada para irrigação teve como base, para os municípios pertencentes a cada bacia, o balanço hídrico dado pela equação abaixo:

$$Qi_{m,j} = Ait_{m,j} \left[ \frac{(ETo_{m,j} \cdot Kc_{m,j} \cdot Ks_{m,j}) - Pef_{m,j}}{Ea_{m,j}} \right] \cdot 10 \quad (3.2)$$



Onde:

- $Qi_{m,j}$  = Vazão de retirada para irrigação no município (m), em m<sup>3</sup>/mês;
- $Ait_{m,j}$  = Área irrigada total no município (m), no mês (j), em ha;
- $ETo_{m,j}$  = Evapotranspiração de referência no município (m), para o mês (j), em mm/mês;
- $Kc_{m,j}$  = Coeficiente da cultura para a cultura média no município (m), para o mês (j), adimensional;
- $Ks_{m,j}$  = Coeficiente de umidade do solo para cultura média no município (m), para o mês (j), adimensional;
- $Pef_{m,j}$  = Precipitação efetiva no município (m), para o mês (j), mm/mês;
- $Ea_{m,j}$  = Eficiência de aplicação da cultura média no município (m), para o mês (j), adimensional.

As vazões de retorno foram obtidas através da seguinte equação:

$$Qi,r_{m,j} = Qi_{m,j} (P_p + P_{esc}) \quad (3.3)$$

Onde:

- $Qi,r_{m,j}$  = Vazão de retorno (r) da irrigação no município (m), m<sup>3</sup>/mês;
- $P_p$  = Perdas de água por percolação além da zona radicular, adimensional;
- $P_{esc}$  = Perdas por escoamentos superficiais, adimensional;

Para o método de irrigação localizada, foi considerado que as perdas por escoamento são nulas.

De posse dos valores de eficiência de aplicação e perda por evaporação para cada um dos sistemas de irrigação, estimaram-se as perdas por percolação e por escoamento pela equação (3.4), de forma a considerar que estes escoamentos não retornam aos mananciais em sua plenitude.

$$P_p + P_{esc} = 1 - P_{ev} - E_a \quad (3.4)$$

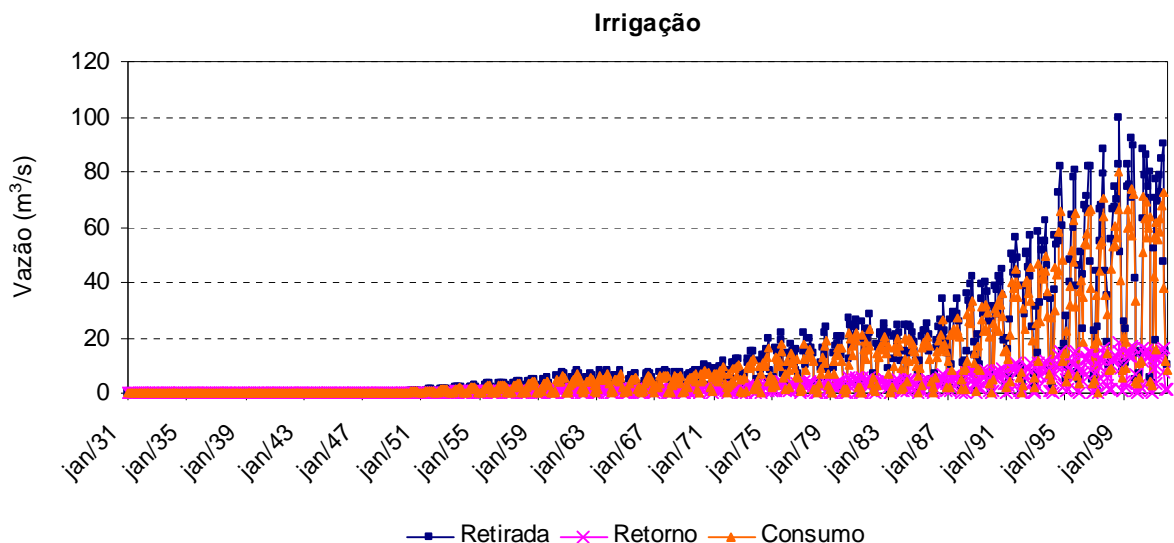
Onde:

$P_{ev}$  = Perdas por evaporação e arraste, adimensional;

$E_a$  = Eficiência de aplicação, adimensional.

Utilizou-se para os sistemas de irrigação por aspersão uma perda por evaporação de 10,9%. Para os sistemas de irrigação localizada as perdas por evaporação foram consideradas iguais a zero (ANA, 2005).

Observa-se a demanda crescente de usos consuntivos na área de irrigação, bem como o efeito da sazonalidade deste tipo de uso, conforme mostra a Figura 3.11.



Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

**Figura 3.11** - Histórico de usos consuntivos de irrigação na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.

### 3.4.3 - Estimativa das Séries de Vazões para Abastecimento Urbano

Conforme descrito no relatório do ONS (2003a), para a estimativa da vazão de retirada para o abastecimento urbano foram processados os dados dos censos

demográficos com a determinação, para cada município das populações total e urbana e destas a população atendida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água.

Em seguida, procedeu-se a determinação do consumo per capita de cada Estado, para o ano de 2000, relacionando-se as informações contidas na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2005b) referentes ao volume distribuído em cada município, com as dos censos demográficos do IBGE, relativas ao número de domicílios atendidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água e ao número de habitantes por domicílio.

Desta forma, foi possível estimar o consumo per capita médio do Estado (CP) pela seguinte equação:

$$CP_{Est} = \frac{VD_{Est}}{Pop_{Est}} \quad (3.5)$$

Onde:

$CP_{Est}$  = Consumo per capita do Estado, L/(hab.dia);

$VD_{Est}$  = Volume distribuído no Estado, L/d, obtido pela soma dos volumes distribuídos nos municípios com consumo superior a 70 L/(hab.dia) ou inferior a 450 L/(hab.dia), da PNSB;

$Pop_{Est}$  = População do Estado, atendida pelo sistema público de abastecimento de água, em habitantes, obtida do censo demográfico de 2000.

A obtenção do consumo per capita de cada faixa populacional, preservando o consumo médio do Estado, foi utilizado um coeficiente de proporcionalidade "X", dado pela equação:

$$X = \frac{VD_{Est}}{\left[ Pop_{F \times 1} + \left( \frac{CP_{F \times 2}}{CP_{F \times 1}} \right) \cdot (Pop_{F \times 2}) + \left( \frac{CP_{F \times 3}}{CP_{F \times 1}} \right) \cdot (Pop_{F \times 3}) + \left( \frac{CP_{F \times 4}}{CP_{F \times 1}} \right) \cdot (Pop_{F \times 4}) \right]} \quad (3.6)$$

Onde:

$X$  = Coeficiente de proporcionalidade;  $L^2/(\text{hab}^2 \cdot \text{d}^2)$ ;

$Pop_{F \times 1}$  = População do Estado pertencente à faixa 1, hab;

$Pop_{F \times 2}$  = População do Estado pertencente à faixa 2, hab;

$Pop_{F \times 3}$  = População do Estado pertencente à faixa 3, hab;

$Pop_{F \times 4}$  = População do Estado pertencente à faixa 4, hab;

$CP_{F \times 1}$  = Consumo per capita da faixa 1,  $L/(\text{hab} \cdot \text{dia})$ ;

$CP_{F \times 2}$  = Consumo per capita da faixa 2,  $L/(\text{hab} \cdot \text{dia})$ ;

$CP_{F \times 3}$  = Consumo per capita da faixa 3,  $L/(\text{hab} \cdot \text{dia})$ ;

$CP_{F \times 4}$  = Consumo per capita da faixa 4,  $L/(\text{hab} \cdot \text{dia})$ .

Os valores necessários para os consumos per capita das faixas de 1 a 4, apresentam-se na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3** - Coeficientes de retirada urbana per capita conforme o Estado considerado e a faixa de população do município.

Classe	Estados	Faixa populacional habitantes	Consumo per capita L/(hab.dia)
1	AL, GO, PI, RR	< 10.000	135
		10.000 a 100.000	160
		100.000 a 500.000	180
		> 500.000	210
2	AC, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO	< 10.000	200
		10.000 a 100.000	230
		100.000 a 500.000	265
		> 500.000	310
3	AM, AP, BA, MG, RJ, RS, SP	< 10.000	300
		10.000 a 100.000	350
		100.000 a 500.000	400
		> 500.000	470

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

De posse do coeficiente de proporcionalidade obteve-se o consumo per capita municipal para cada faixa populacional do Estado, conforme Tabela 3.4, dado pela equação:

$$CP_{(F \times n)Est} = \frac{X \left( \frac{CP_{F \times n}}{CP_{F \times 1}} \right)}{CP_{Est}} \quad (3.7)$$

Onde:

$n$  = Faixa populacional, variando de 1 a 4;

$CP_{(F \times n)Est}$  = Consumo per capita da faixa  $n$  do respectivo Estado, L/(hab.dia);

$CP_{(F \times 1)Est}$  = Consumo per capita da faixa 1 do respectivo Estado, L/(hab.dia);

$X$  = Coeficiente de proporcionalidade, L<sup>2</sup>/(hab<sup>2</sup>.d<sup>2</sup>);

$CP_{Est}$  = Consumo per capita do Estado, L/(hab.dia); obtido da PNSB.

Na obtenção dos coeficientes de retirada foram considerados somente municípios da PNSB (IBGE, 2005b), na área do estudo, com retiradas superiores a 70 L/(hab.dia) ou inferiores a 450 L/(hab.dia), conforme Tabela 3.4.

**Tabela 3.4** - Coeficientes de retirada urbana per capita calculado, em litros/(habitante.dia), conforme o Estado considerado e a faixa de população do município.

Estado	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
Pará	196	225	259	303
Tocantins	180	207	239	279
Maranhão	157	181	209	244
Pernambuco	180	207	239	280
Alagoas	227	269	303	354
Sergipe	68	-	-	-
Bahia	151	176	201	237
Minas Gerais	186	217	248	291
São Paulo	225	263	301	353
Paraná	170	196	226	264
Santa Catarina	203	233	269	315
Mato Grosso do Sul	220	253	291	341
Mato Grosso	267	307	354	414
Goiás	163	193	217	253
Distrito Federal	-	-	-	257

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

A estimativa da vazão de retirada para abastecimento urbano em cada município foi feita pela equação:

$$Q_u = Pop_{u,a} \times CP_{(F \times n)} \quad (3.8)$$

Onde:

$Q_u$  = Vazão de captação, L/dia;

$Pop_{u,a}$  = População urbana do município abastecida por rede geral, habitantes;

$CP_{(F \times n)}$  = Per capita da faixa na qual se enquadra o município, L/(hab.dia).

A estimativa das vazões retiradas para abastecimento urbano foi realizada para cada um dos municípios pertencentes à bacia de drenagem, sendo a vazão total retirada para abastecimento urbano obtida pelo somatório das vazões correspondentes a todos os municípios pertencentes à bacia.

As vazões efetivamente consumidas no abastecimento urbano foram estimadas, considerando o fato de que este tipo de uso apresenta um baixo uso consuntivo, da ordem de 20% (ONS, 2003a).

A vazão de retorno foi então obtida por:

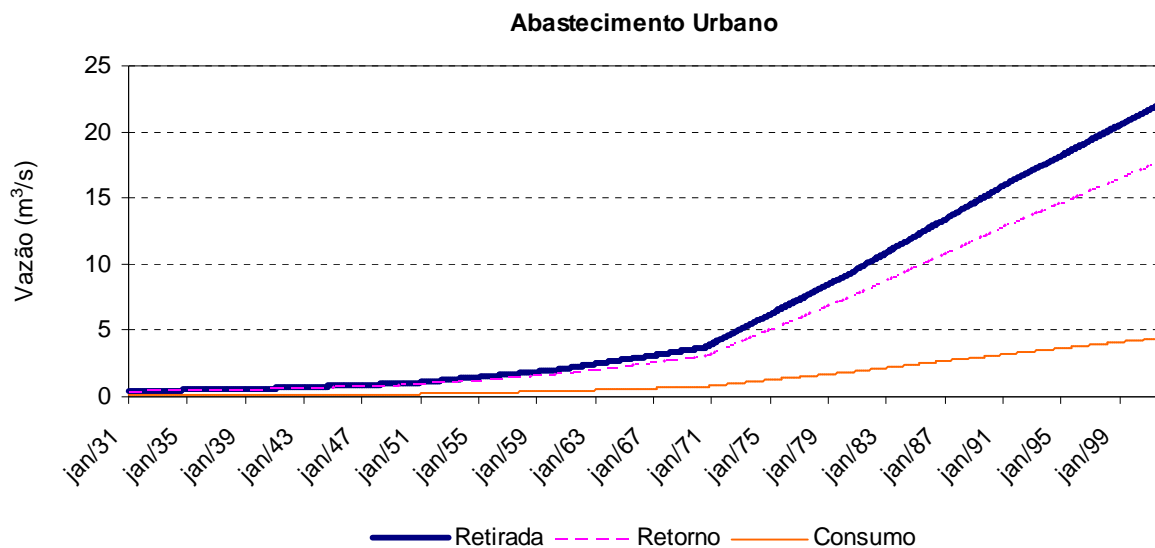
$$Q_{u,r} = Q_u \cdot kr_{urb} \quad (3.9)$$

Onde:

$Q_{u,r}$  = Vazão de retorno do abastecimento urbano, L/dia;

$kr_{urb}$  = Coeficiente de retorno do abastecimento urbano, adimensional.

A Figura 3.12 mostra, a evolução do consumo de abastecimento urbano na bacia do rio São Francisco até a usina de Sobradinho.



Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

**Figura 3.12** - Histórico de usos consuntivos de abastecimento urbano na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.



### 3.4.4 - Estimativa das Séries de Vazões para Abastecimento Rural

Segundo o relatório do ONS (2003a), para o abastecimento rural, considerou-se, além da população rural, também a urbana não atendida. No cálculo das vazões utilizaram-se, no caso das populações rural e urbana não atendida por rede geral, os coeficientes de retirada rural per capita. Considerou-se, portanto, que as duas parcelas tendem a se abastecer de água de forma semelhante. No caso da população rural atendida por rede geral, utilizaram-se as mesmas vazões per capita da população urbana.

Os coeficientes de retirada rural per capita utilizado foram propostos no documento “Base de Referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos” (CNRH, 2003). Conforme se observa na tabela 3.5, a determinação do consumo per capita para abastecimento rural é função do Estado onde se localiza o município considerado.

**Tabela 3.5** - Coeficientes de retirada rural per capita, conforme a Unidade da Federação.

Estados	Consumo per capita L/(hab.dia)
AL, GO, PI	70
AC, BA, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO	100
AM, AP, MG, RJ, RS, RR, SP	125

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

A Estimativa da vazão retirada para abastecimento rural, por município, foi feita pela equação:

$$Q_r = (Pop_{r,na} + Pop_{u,na}) \cdot CP_{rur} + Pop_{r,a} \cdot CP_{(F \times n)} \quad (3.10)$$

Onde:

- $Q_r$  = Vazão de retirada para abastecimento rural por município, L/dia;  
 $Pop_{r,na}$  = População rural do município não atendida por rede geral, habitantes;  
 $Pop_{r,a}$  = População rural do município atendida por rede geral, habitantes;  
 $Pop_{u,na}$  = População urbana não atendida por rede geral, habitantes;  
 $CP_{rur}$  = Vazão rural per capita, L/(hab.dia), considerando o Estado onde se localiza o município;  
 $CP_{(Fxn)}$  = Vazão da faixa n per capita, L/(hab.dia), considerando o Estado e a faixa populacional do município.

A estimativa das vazões retiradas para abastecimento rural foi realizada para cada um dos municípios pertencentes à bacia de drenagem, sendo a vazão total retirada para abastecimento rural obtida pelo somatório das vazões correspondentes a todos os municípios pertencentes à bacia.

A inexistência de sistemas para a condução das vazões de retorno é uma realidade pertinente ao abastecimento rural. Contudo, o fato de inexistirem tais sistemas não implica na inexistência do retorno, uma vez que este passa a ocorrer por meio do reabastecimento do lençol freático e conseqüente escoamento subterrâneo. O retorno, nessas condições, deve ser inferior ao do abastecimento urbano, mas certamente não desprezível. Desta forma, foi adotado 0,5 como taxa de retorno (ONS, 2003a).

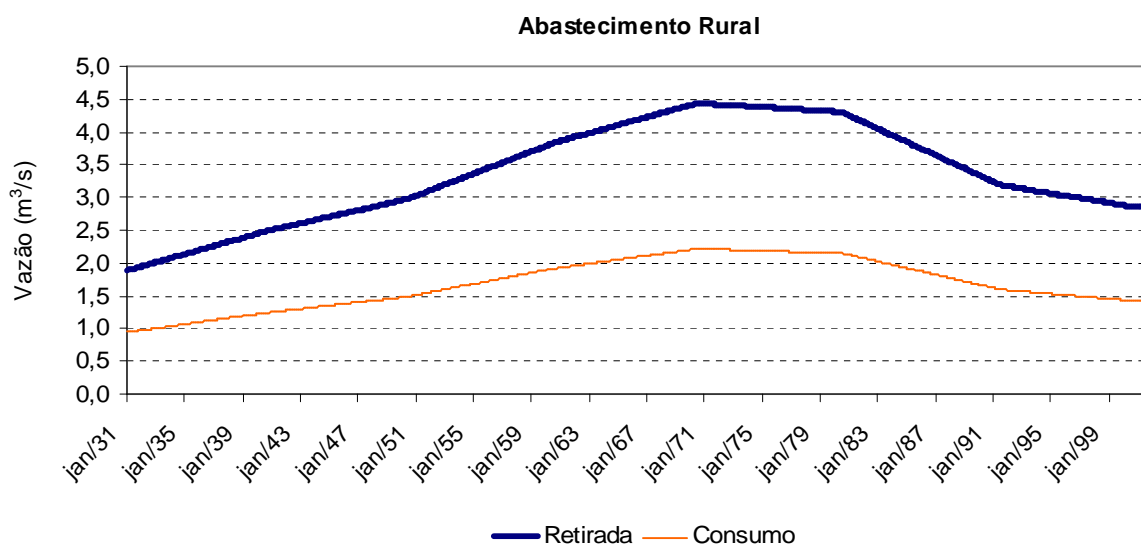
A vazão de retorno foi obtida por:

$$Q_{r,r} = Q_r \cdot kr_{rur} \quad (3.11)$$

Onde:

- $Q_{r,r}$  = Vazão de retorno do abastecimento rural, L/dia;  
 $kr_{rur}$  = Coeficiente de retorno do abastecimento rural, adimensional.

Observa-se uma queda no consumo de abastecimento rural na década de 1980, provavelmente ocasionada pela queda da população rural, conforme mostra a Figura 3.13.



Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

**Figura 3.13** - Histórico de usos consuntivos de abastecimento rural na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.

### 3.4.5 - Estimativa das Séries de Vazões para Criação Animal

Conforme descrito no relatório do ONS (2003a), a estimativa da série de vazões destinadas para a criação animal foi feita a partir do número de cabeças, disponível nos Censos Agropecuários do IBGE.

Foram processados os dados censitários com a determinação, em cada um dos municípios contidos na área de drenagem, da população correspondente aos principais rebanhos da região.

O volume retirado, por espécie animal, foi obtido entre os valores propostos, conforme mostra a Tabela 3.6.

**Tabela 3.6** - Coeficientes per capita para espécies animais.

<b>Espécie Animal</b>	<b>Retirada (L/dia)</b>
<b>Bovino</b>	50
<b>Suíno</b>	12,5
<b>Bubalino</b>	50
<b>Eqüino</b>	50
<b>Asinino</b>	50
<b>Muar</b>	50
<b>Ouvino</b>	10
<b>Caprino</b>	10
<b>Aves</b>	0,36

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

A estimativa da vazão retirada para criação animal por município foi feita pela equação:

$$Q_a = \sum (Reb_{(esp.anim)} \cdot q_{(esp.anim)}) \quad (3.12)$$

Onde:

$Q_a$  = Vazão retirada para abastecimento animal por município, L/dia;

$Reb_{(esp.anim)}$  = Rebanho do município para cada espécie animal, obtida nos censos do IBGE;

$q_{(esp anim)}$  = Vazão per capita por espécie animal, L/(animal.dia).

Considerou-se, para fins de cálculo do rebanho correspondente a cada espécie animal, o critério de proporcionalidade da área do município localizada na área de drenagem considerada.

A estimativa das vazões retiradas para abastecimento animal foi realizada, portanto, para cada um dos municípios pertencentes à bacia de drenagem, sendo a vazão total retirada obtida pelo somatório das vazões correspondentes a todos municípios pertencentes à bacia.

Para a taxa de vazão de retorno para o consumo animal foi considerada o valor de 0,2 do volume captado (ONS, 2003a).

A vazão de retorno foi obtida por:

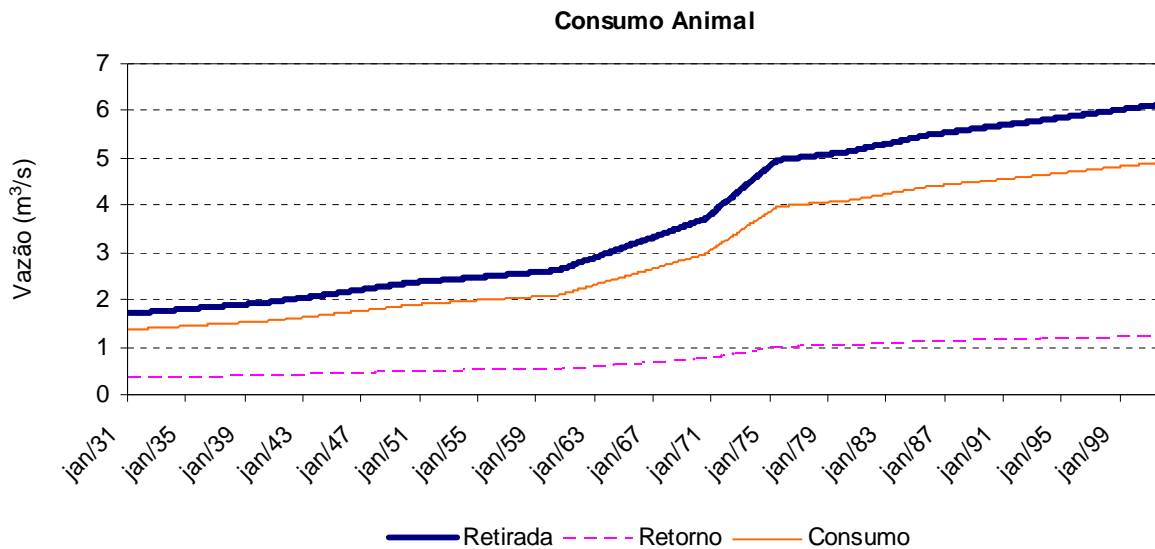
$$Q_{a,r} = Q_a \cdot kr_{anim} \quad (3.13)$$

Onde:

$Q_{a,r}$  = Vazão de retorno da criação animal, L/dia;

$kr_{anim}$  = Coeficiente de retorno da criação animal, adimensional.

A Figura 3.14 mostra a evolução dos usos consuntivos de abastecimento animal na bacia do rio São Francisco até a usina de Sobradinho.



Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

**Figura 3.14** - Histórico de usos consuntivos de abastecimento animal na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.

### **3.4.6 - Estimativa das Séries de Vazões para Abastecimento Industrial**

Segundo o relatório do ONS (2003a), a metodologia adotada para estimativa das séries de vazões relacionadas ao abastecimento industrial consiste de processo em que é levado em consideração o valor da produção industrial municipal, a quantidade produzida por tipo de indústria no ano de 2001 e a relação entre essa quantidade e o volume de água necessário à produção de cada unidade que é função do processo industrial adotado.

O processo aqui adotado difere daquele utilizado no Documento Base do Plano Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2003), na realização do diagnóstico das grandes bacias hidrográficas brasileiras, que reuniu dados de diversas fontes. O trabalho da ANA consistiu na obtenção de um coeficiente per capita médio, aplicável aos trabalhadores registrados na indústria de transformação, e do número de empregados do setor secundário, para os anos disponíveis na Base de Informações Municipais do Setor de Produção de Bens e Serviços do IBGE.

Segundo os resultados da ANA (CNRH, 2003), os valores per capita variaram de 1.500 a 5.500 L/(empregado.dia), em função dos tipos de atividade industrial.

No documento de referência da Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água nas Bacias do SIN (ONS, 2003a), definiu-se adotar parâmetros de retirada e retorno em função do faturamento da indústria para cada tipo de produto, conforme apresenta na Tabela 3.7.

**Tabela 3.7 - Parâmetros utilizados na estimativa das vazões de retirada e retorno da indústria.**

Código	Produto	Parâmetros (m <sup>3</sup> /US\$)	
		Retirada	Retorno
100	Extrativa Mineral	0,13233	0,10586
150	Produtos Alimentares	0,02708	0,02166
159	Bebidas	0,00998	0,00870
160	Fumo	0,00564	0,00451
170	Têxtil	0,03064	0,02451
180	Vestuários, Calçados e Artefatos de Tecidos	0,03052	0,02442
190	Couros e Peles, Artefatos para Viagens	0,01474	0,01179
201	Madeira	0,05039	0,04031
210	Papel e Papelão	0,08545	0,06836
220	Editorial e Gráfica	0,00001	0,00001
240	Química	0,02304	0,01843
245	Produtos Farmacêuticos e Veterinários	0,00560	0,00448
247	Perfumaria, Sabões e Velas	0,00753	0,00602
251	Borracha	0,00134	0,00107
252	Produtos de Matérias Plásticas	0,00023	0,00018
260	Transformação de não Metálicos	0,00492	0,00394
270	Metalúrgico	0,01013	0,00811
290	Mecânica	0,01132	0,00905
310	Material Elétrico de Comunicações	0,00001	0,00001
340	Material de Transporte	0,00551	0,00440
360	Mobiliária	0,12274	0,09838
900	Genérico	0,02713	0,02176

Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

Ao longo do período abrangido pelo estudo, o valor da produção foi expresso em diversas moedas. Todas elas foram convertidas para Dólar dos Estados Unidos da América (US\$), em valor nominal da época.

Considerando que o IBGE utiliza na tabulação dos resultados das suas pesquisas sobre a atividade industrial, a Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE (IBGE, 2005c), adotou-se 21 grandes classes de atividades industriais nela discriminadas, sendo uma dessas classes extrativa e as demais de

transformação. Foram atribuídos códigos a cada uma dessas atividades tomando como referência a codificação do CNAE, não sendo necessariamente a mesma. Posteriormente, observou-se que, nos censos, alguns municípios dispunham apenas do valor da produção industrial total, sem discriminação por classe de indústria, o que motivou a criação de uma classe “genérica” de indústria, na qual os parâmetros de retirada e retorno representam a média das demais classes. Os parâmetros assim obtidos para as 22 classes podem ser vistos na Tabela 3.7.

Assim, a estimativa da vazão de retirada para abastecimento industrial no município, dada pelo somatório das vazões demandadas por cada classe de indústria presente, foi feita pela equação:

$$Q_{ind} = \frac{\sum_{Y=1}^{22} [VP_{(ProdutoY)} \cdot V_{retirada(ProdutoY)}]}{31.536.000} \quad (3.14)$$

Onde:

$Q_{ind}$  = Vazão total de retirada para abastecimento industrial no município (m), m<sup>3</sup>/s;

$VP_{(ProdutoY)}$  = Valor da produção anual do produto Y, convertido para US\$;

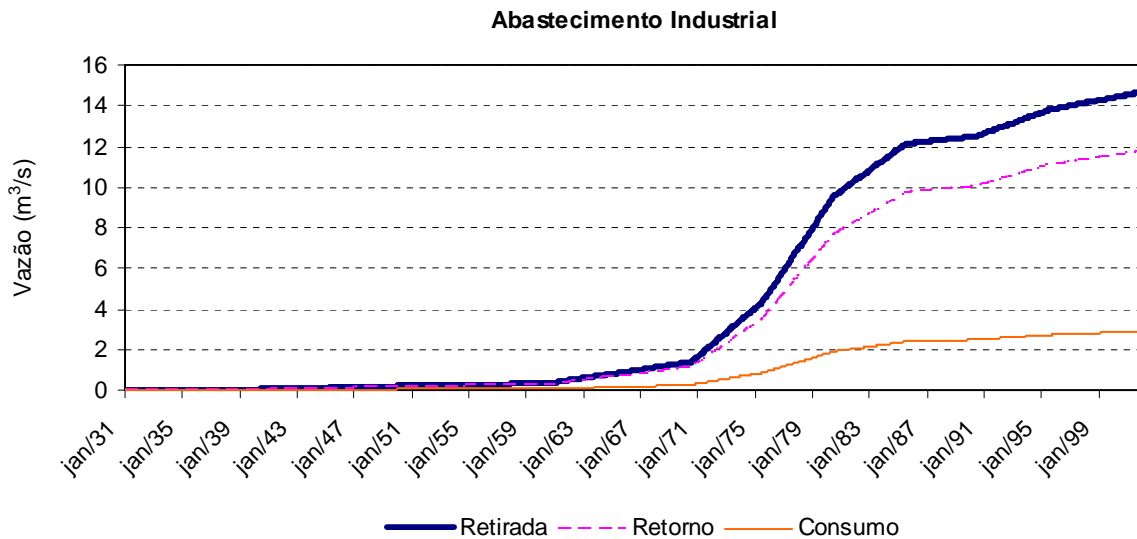
$V_{retirada(ProdutoY)}$  = Volume captado por unidade monetária produzida do produto Y, m<sup>3</sup>/US\$;

31.536.000 = Fator para correção de unidades, correspondente a quantidade de segundos por ano.

Para a determinação da vazão de retorno para abastecimento industrial foi adotado a mesma metodologia descrita para o cálculo da vazão de retirada, sendo utilizado o parâmetro correspondente ao tipo de indústria constante na Tabela 3.7.

A Figura 3.15 mostra, a evolução dos usos consuntivos de abastecimento industrial na bacia do rio São Francisco até a usina de Sobradinho.





Fonte: Adaptado de ONS, 2003a

**Figura 3.15** - Histórico de usos consuntivos de abastecimento industrial na bacia do rio São Francisco até Sobradinho.

### 3.4.7 - Estimativa das Séries de Vazões para as Demais Bacias de Interesse

Os estudos realizados pelo ONS, através do relatório de Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água nas Bacias do SIN (ONS, 2003a), não contemplam as bacias dos rios Parnaíba e Contas, constante na área de estudo dessa pesquisa. Desta forma, foi necessário estimar as vazões de retirada nas áreas dos reservatórios existentes nas referidas bacias, quais sejam: reservatório da usina de Boa Esperança na bacia do rio Parnaíba e os reservatórios das usinas de Pedra e Funil na bacia do rio Contas. A metodologia adotada para a definição destas vazões foi semelhante à proposta no referido documento do ONS utilizado como referência, tendo sido feitas as seguintes ponderações:

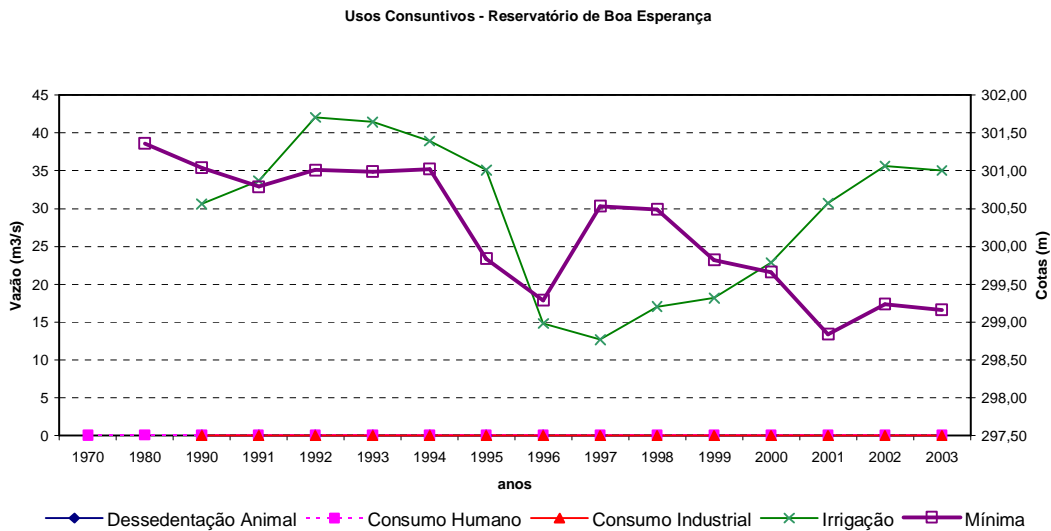
- a) Para as divisões territoriais entre os municípios foram consideradas as atuais, não tendo sido verificadas as mudanças territoriais ao longo do tempo;

- b) Para as informações atuais, não constantes nos censos do IBGE, foi adotada uma extrapolação das existentes com tendência linear;
- c) Para o cálculo da vazão proveniente da irrigação foi adotada uma taxa de 0,52 L/(s.ha), conforme utilizado no documento base do Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (CNRH, 2003), por não se possuir os parâmetros necessários para obtenção destas vazões, tais como: evapotranspiração, precipitação efetiva, tipo de aplicação etc., como também o calendário de cultura para os municípios;
- d) Para o consumo humano foi considerado o total de habitantes urbano e rural multiplicado por suas respectivas taxas de consumo per capita, não sendo considerada a parcela da população urbana não atendida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água para aplicação da respectiva taxa de consumo rural;
- e) Não foi considerado o coeficiente de proporcionalidade considerando as faixas populacionais;
- f) Para o consumo industrial foi considerado o total de trabalhadores registrados nas indústrias disponíveis no cadastro geral de Empresas, segundo seção da classificação de atividades (IBGE, 2005c), pelo consumo máximo per capita de L/(empregado.dia), conforme sugere o documento base do Plano Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2003);
- g) Considerou-se um índice médio de retorno de 20 % para irrigação, conforme sugere a metodologia no relatório do ONS da Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo (ONS, 2003a). Para os usos como: dessedentação, humano e industrial foi desprezado o índice de retorno por apresentar valores muito baixos de consumo.

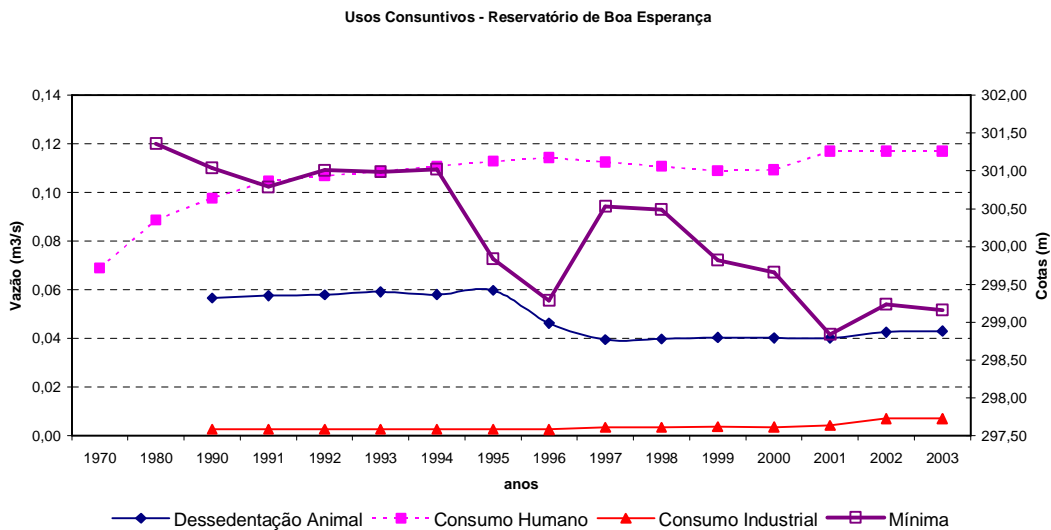
As Tabelas 3.8, 3.9 e 3.10 mostram os valores de usos consuntivos nos reservatórios de Boa Esperança, Pedra e Funil, assim como, nas Figuras 3.16 3.18 e 3.20, apresentam as evoluções históricas desses valores e nas Figuras 3.17, 3.19 e 3.20, apresentam as mesmas evoluções históricas sem considerar o uso consuntivo de maior relevância que é a irrigação. Os dados destacados em itálico nas tabelas correspondem àqueles estimados por extrapolação dos valores existentes com tendência linear.

**Tabela 3.8 - Usos consuntivos na bacia do rio Parnaíba no reservatório de Boa Esperança.**

Levantamento de usos no Reservatório de Boa Esperança (m³/s)							Cotas do Reservatório (m)		
Ano	Dessedentação Animal	Consumo Humano	Consumo Industrial	Irrigação	Retorno Irrigação	Total	Máxima	Média	Mínima
1970		0,069							
1980		0,089					304,00	303,06	301,36
1990	0,0568	0,098	0,0027	30,61	6,12	24,65	303,88	302,41	301,04
1991	0,0576	0,105	0,0027	33,68	6,74	27,11	303,98	302,31	300,79
1992	0,0580	0,107	0,0027	42,08	8,42	33,83	303,40	302,32	301,01
1993	0,0591	0,109	0,0027	41,42	8,28	33,31	303,80	302,29	300,99
1994	0,0581	0,111	0,0027	38,92	7,78	31,31	303,99	302,67	301,02
1995	0,0598	0,113	0,0027	35,11	7,02	28,26	303,81	302,24	299,84
1996	0,0463	0,114	0,0027	14,82	2,96	12,02	303,01	301,35	299,29
1997	0,0396	0,113	0,0034	12,69	2,54	10,31	303,99	302,18	300,53
1998	0,0398	0,111	0,0034	17,05	3,41	13,80	302,93	301,78	300,49
1999	0,0404	0,109	0,0038	18,18	3,64	14,70	303,31	301,69	299,82
2000	0,0402	0,109	0,0036	22,88	4,58	18,46	303,58	302,14	299,66
2001	0,0403	0,117	0,0043	30,74	6,15	24,75	303,74	301,48	298,84
2002	0,0426	0,117	0,0071	35,64	7,13	28,68	303,90	302,02	299,24
2003	0,0431	0,117	0,0071	35,05	7,01	28,20	303,66	301,50	299,16



**Figura 3.16** - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Boa Esperança.



**Figura 3.17** - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Boa Esperança sem considerar a retirada por irrigação.

**Tabela 3.9 - Usos Consuntivos na bacia do rio Contas no reservatório de Pedra.**

Levantamento de usos no Reservatório de Pedra (m <sup>3</sup> /s)							Cotas do Reservatório (m)		
Ano	Dessedentação Animal	Consumo Humano	Consumo Industrial	Irrigação	Retorno Irrigação	Total	Máxima	Média	Mínima
1970		0,238							
1980		0,295							
1990	0,1738	0,333	0,0256	8,98	1,80	7,72	223,17	221,27	218,81
1991	0,1826	0,371	0,0403	7,06	1,41	6,24	220,83	217,88	215,42
1992	0,1950	0,381	0,0550	8,46	1,69	7,40	224,56	223,99	222,85
1993	0,1566	0,391	0,0697	8,60	1,72	7,50	223,14	221,28	219,18
1994	0,1477	0,401	0,0844	8,28	1,66	7,26	222,49	220,90	218,84
1995	0,1416	0,411	0,0991	7,96	1,59	7,02	220,77	218,21	216,75
1996	0,1213	0,421	0,1138	7,00	1,40	6,26	223,17	220,87	218,85
1997	0,1124	0,416	0,0643	6,28	1,26	5,62	226,42	223,74	219,28
1998	0,1244	0,411	0,0913	6,42	1,28	5,76	222,03	218,97	216,53
1999	0,1295	0,406	0,1129	6,08	1,22	5,51	220,85	219,39	218,59
2000	0,1311	0,401	0,2229	5,56	1,11	5,20	223,36	221,95	220,56
2001	0,1439	0,406	0,2253	5,93	1,19	5,52	223,41	220,10	216,48
2002	0,1404	0,411	0,2166	6,00	1,20	5,57	224,04	221,38	219,55
2003	0,1418	0,416	0,2313	6,26	1,25	5,80	220,69	218,57	216,18

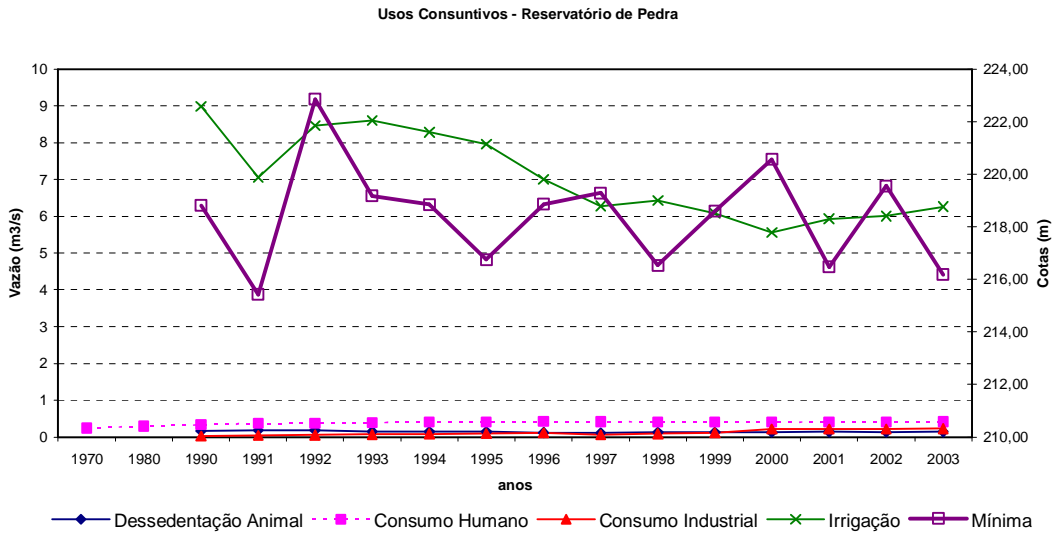


Figura 3.18 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Pedra.

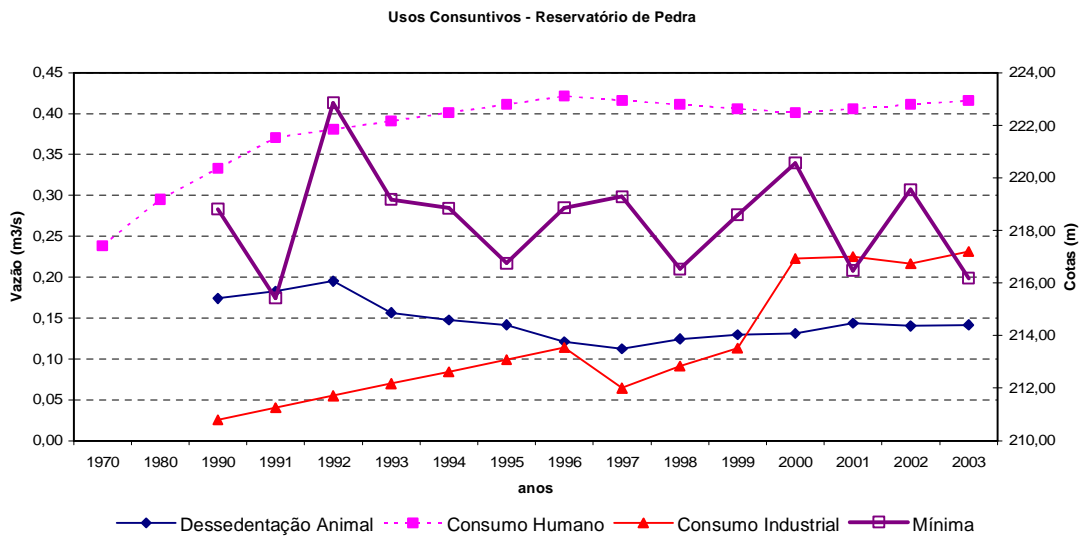
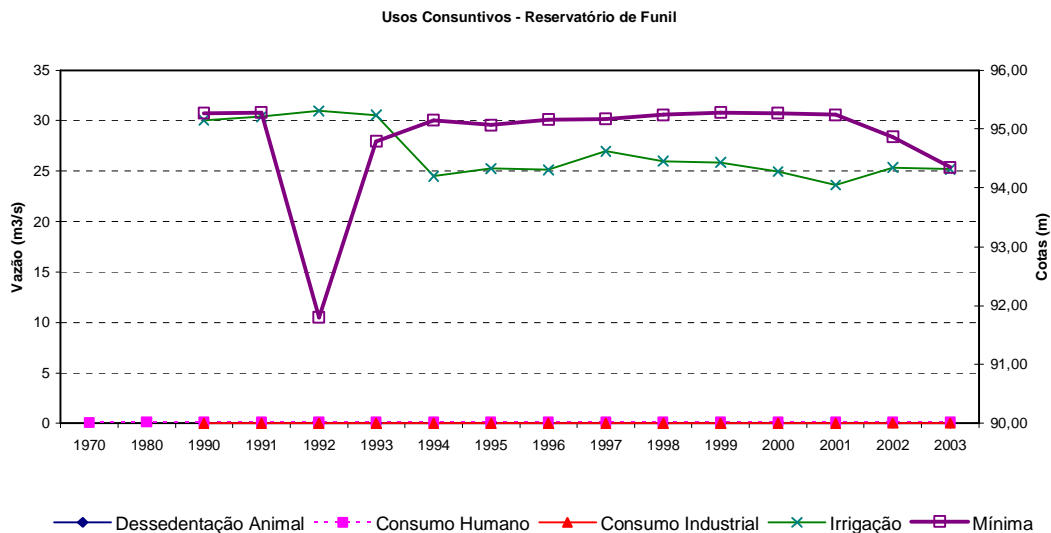


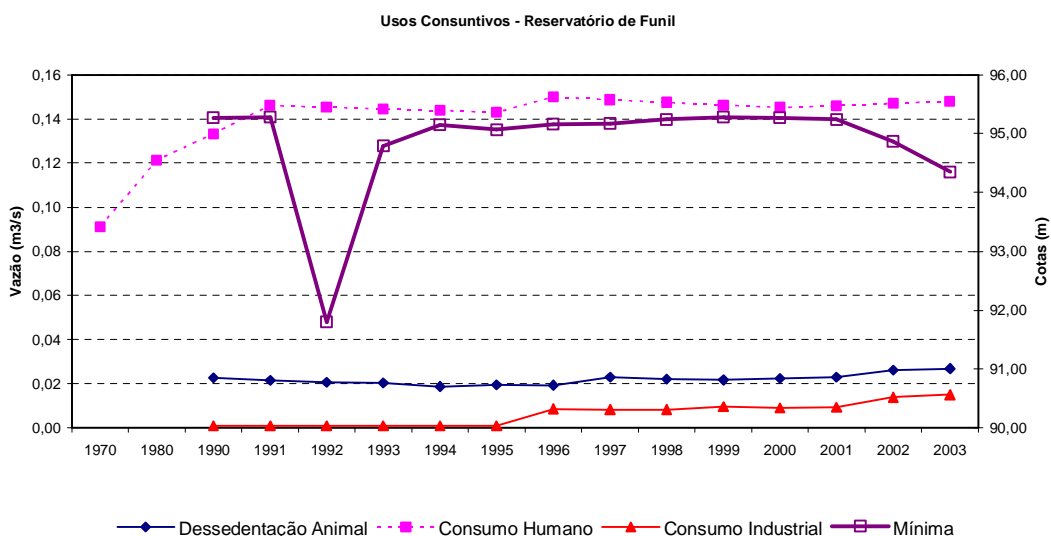
Figura 3.19 - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Pedra sem considerar a retirada por irrigação.

**Tabela 3.10 - Usos consuntivos na bacia do rio Contas no reservatório de Funil.**

Levantamento de usos no Reservatório de Funil (m <sup>3</sup> /s)							Cotas do Reservatório (m)		
Ano	Dessedentação Animal	Consumo Humano	Consumo Industrial	Irrigação	Retorno Irrigação	Total	Máxima	Média	Mínima
1970		0,091							
1980		0,121							
1990	0,0226	0,133	0,001	30,05	6,01	24,20	95,41	95,34	95,27
1991	0,0215	0,146	0,001	30,37	6,07	24,46	95,37	95,32	95,28
1992	0,0207	0,145	0,001	30,94	6,19	24,92	95,40	94,86	91,80
1993	0,0205	0,145	0,001	30,56	6,11	24,61	95,40	95,30	94,79
1994	0,0187	0,144	0,001	24,48	4,90	19,75	95,38	95,32	95,15
1995	0,0196	0,143	0,001	25,25	5,05	20,36	95,31	95,25	95,07
1996	0,0193	0,150	0,009	25,11	5,02	20,27	95,29	95,25	95,16
1997	0,0230	0,149	0,008	26,95	5,39	21,74	95,32	95,26	95,17
1998	0,0222	0,147	0,008	25,99	5,20	20,97	95,33	95,28	95,24
1999	0,0217	0,146	0,010	25,85	5,17	20,86	95,33	95,31	95,28
2000	0,0224	0,145	0,009	24,93	4,99	20,12	95,36	95,31	95,27
2001	0,0230	0,146	0,009	23,63	4,73	19,08	95,36	95,29	95,24
2002	0,0262	0,147	0,014	25,36	5,07	20,47	95,30	95,01	94,87
2003	0,0268	0,148	0,015	25,17	5,03	20,33	95,09	94,93	94,35



**Figura 3.20** - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Funil.



**Figura 3.21** - Evolução histórica dos usos consuntivos no reservatório de Funil sem considerar a retirada por irrigação.

Observa-se que o principal uso consuntivo é a irrigação, sendo os demais usos desprezíveis. Relacionam-se a estes consumos as cotas mínimas observadas ao longo do histórico considerado, com o fim de associar a variação dos usos com estes níveis. Verifica-se no reservatório da usina de Boa Esperança uma queda acentuada de consumo para irrigação em 1996 e 1997, onde ocorre



uma grande redução na população rural dos municípios situados na borda do lago desta usina, sendo provavelmente a causa da redução dos níveis de consumo para este uso na região.

Verifica-se na usina de Pedra, uma contínua redução no uso para irrigação a partir de 1993, ocasionado provavelmente pela redução da população rural na região. Na usina de Funil, verifica-se uma redução em 1993 e uma estabilidade no consumo por irrigação, bem como na população rural a partir desta data.

#### **3.4.8 - Levantamento dos Usuários do Reservatório de Sobradinho**

Foi realizado um levantamento de campo no perímetro do reservatório de Sobradinho, nos meses de novembro e dezembro de 2004 e em janeiro de 2005, com o objetivo de identificar os diversos usuários do referido reservatório, bem como as condições de lançamento e retirada e atendimento em função dos níveis deste reservatório nas cotas máximas e mínimas atingidas no histórico.

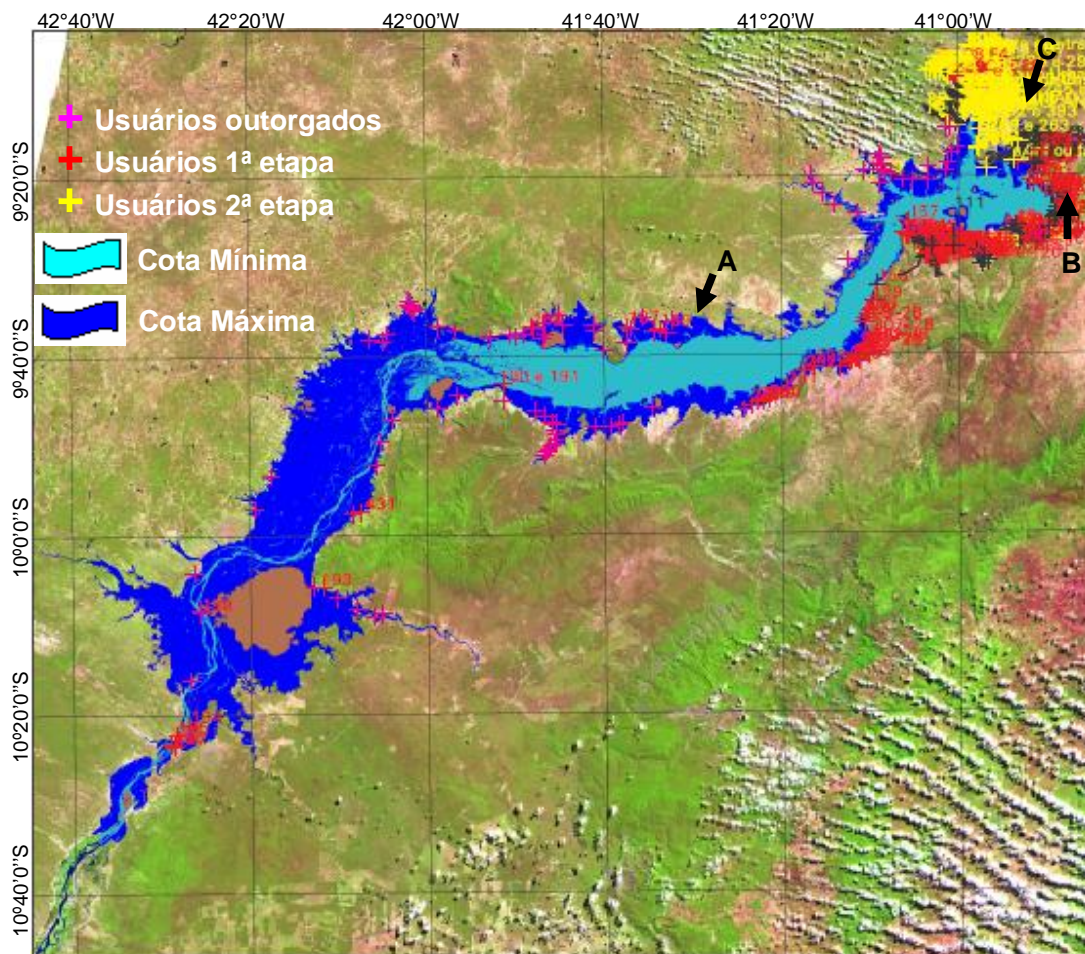
O referido levantamento foi dividido em inspeções aéreas e terrestres. As inspeções aéreas foram realizadas de helicóptero ao longo de todo o perímetro da borda do lago, registrando-se as coordenadas aproximadas dos pontos de captação e lançamento com GPS - Sistema de Posicionamento Global, bem como foram também feitas fotos dos pontos de captação e lançamento aos diversos usuários. A estimativa de pontos de captação e lançamento foi de 630 usuários dentre os usos para irrigação, abastecimento humano, animal e industrial. Posteriormente, foram realizados os levantamentos terrestres, com o objetivo de obter informações sobre os usuários. Nas visitas aos usuários foram coletadas as seguintes informações:

- Nome do usuário;
- Município/distrito;
- Nome da propriedade;
- Área irrigada em hectares;
- Coordenadas do ponto de captação;

- Tipo de captação;
- Quantidade de horas de funcionamento da(s) bomba(s);
- Número de bombas;
- Finalidade da retirada;
- Tipo de irrigação;
- Número de animais ou de habitantes;
- Tipo de cultura.

Na campanha foram visitados 451 usuários, 39 usuários foram estimados em função das inspeções aéreas e 33 usuários outorgados que não foram visitados, totalizando 523 usuários. Durante as inspeções não foi possível coletar as informações descritas acima em 30 pontos de captação, pela impossibilidade de acesso aos locais, como também não foi possível a conclusão dos trabalhos terrestres em razão do início das precipitações na área do reservatório de Sobradinho, o que dificultou a realização dos trabalhos em razão de não permitir a coleta das informações pelos satélites, bem como o aumento da dificuldade de acesso aos locais de captação. Desta forma, estima-se que aproximadamente 77 usuários não foram visitados.

Os pontos levantados foram plotados em imagem de satélite com a utilização do software ERDAS IMAGINE. As datas das imagens selecionadas para o estudo foram escolhidas em banco de imagens de empresas especializadas, utilizando como critério as seguintes condições: cobertura mínima de nuvens, disponibilidade de acervo técnico e datas próximas às verificadas para as cotas mínima e máxima do nível do reservatório, respectivamente ocorridas nos anos de 2001 e 2004 correspondentes respectivamente às cotas médias de 381,82 m equivalente a 5,64 % do volume útil e 392,45 m equivalente a 99,27 % deste volume, conforme a Figura 3.22.



**Figura 3.22** - Imagem do Satélite Landsat TM -7, na região do reservatório de Sobradinho, contendo a localização dos usuários e a sobreposição dos espelhos d'água nos anos de 2001 e 2004 com composição colorida nas bandas 3,4 e 5; e cenas 217/066 de 21/05/2004; 217/067 de 21/05/2004; 218/066 de 28/05/2004 e 218/067 de 28/05/2004.



Observa-se na Figura 3.23, os tipos de captação localizados no perímetro do lago da usina de Sobradinho, a saber: captação móvel (A), fixa (B) e flutuante (C).



Fonte: Chesf - DORH - Divisão de Gestão de Recursos Hídricos

**Figura 3.23** - Captações localizadas no reservatório da usina de Sobradinho. (A) projeto Barra da Cruz; (B) projeto Nilo Coelho e (C) projeto Recreio.

A metodologia adotada para o cálculo das vazões para a irrigação foi a mesma apresentada pelo ONS no relatório de Estimativa das Vazões para Atividade de Usos Consuntivos (ONS, 2003a). Para os demais usos, as vazões foram calculadas considerando as simplificações descritas anteriormente para as bacias dos rios Parnaíba e Contas. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 3.11.

**Tabela 3.11** - Usos consuntivos no reservatório de Sobradinho, resultado do levantamento de 2004/2005 e dados do IBGE.

<b>RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO (m³/s)</b>				
<b>Usos Consuntivos</b>	<b>Vazão CHESF</b>	<b>Vazão IBGE</b>	<b>(%)</b>	<b>Ano Referência IBGE</b>
<b>Irrigação</b>	25,84	25,74	97,78	2003
<b>Abastecimento Humano</b>	0,23	0,38	0,87	2000
<b>Abastecimento Animal</b>	0,36	0,36	1,35	2003
<b>Abastecimento Industrial</b>	0,00	0,02	0,00	2002
<b>Total</b>	<b>26,43</b>	<b>26,50</b>	-	-
<b>Vazões Outorgadas</b>	5,25	-	19,86	-

As vazões dos usuários não visitados, os 70 pontos não visitados e os 30 pontos onde não foi possível obter as informações, foram estimados. A vazão média dos usuários irrigantes, expurgando os valores dos grandes usuários, foram calculados em 0,016 m³/s o que resulta em uma vazão estimada de 1,6 m³/s. A vazão calculada para o consumo animal foi considerada o valor verificado no IBGE através do SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática (IBGE, 2005a), por ter havido dificuldade de obtenção destas informações no campo. Foram verificados também, a título de informação, que os dados constantes no IBGE na área do reservatório de Sobradinho para todos os tipos de uso são muito próximos dos levantados em campo. Para os irrigantes foi encontrado um valor de 25,74 m³/s, referente ao ano de 2003, adotando uma taxa de consumo de 0,52 L/(s.ha), o que é bastante razoável, pois se verifica uma taxa de consumo por área de 0,77 L/(s.ha) e 0,63 L/(s.ha), considerando-as vazões outorgadas máximas e médias, respectivamente.

Em relação aos usuários outorgados, verifica-se que apenas 19,86 % da vazão têm autorização da ANA de retirar a água captada em relação ao total do volume de vazões retiradas no reservatório de Sobradinho, conforme verificado no levantamento efetuado (ANA, 2004).

### 3.4.9 - Cálculo das Séries de Vazões Naturais e Incrementais

As séries de vazões naturais e incrementais para as bacias do SIN - Sistema Interligado Nacional, foram reavaliadas pelo ONS no Relatório de Reavaliação de Séries de Vazões Naturais (ONS, 2003c), sendo complementada pela Metodologia para Reconstituição de Vazões Naturais dos Aproveitamentos do SIN no período 2002/2003 (ONS, 2004a).

Segue abaixo a metodologia adotada para a reconstituição das séries de vazões afluentes aos reservatórios:

#### 3.4.9.1 - Cálculo das vazões afluentes aos reservatórios

A metodologia utilizada para o cálculo de vazões afluentes aos reservatórios foi através do fechamento diário do balanço hídrico de cada reservatório, a partir das informações de nível d'água de montante às 24:00 horas, vazão defluente total e curva, cota-volume do reservatório, fornecidas pelos Agentes de Geração. A equação básica utilizada foi a seguinte:

$$Q_{Afl} = Q_{Def} + \left( \frac{\Delta V}{86.400} \right) \quad (3.15)$$

Onde:

$Q_{afl}$  = Vazão afluente ao reservatório (m<sup>3</sup>/s);

$Q_{def}$  = Vazão defluente total do reservatório (m<sup>3</sup>/s);

$\Delta V$  = Variação diária do volume acumulado no reservatório (m<sup>3</sup>).

### 3.4.9.2 - Cálculo das vazões incrementais de cada aproveitamento

A metodologia utilizada para o cálculo de vazões incrementais de cada aproveitamento foi através da seguinte equação:

$$Q_{Inc} = Q_{Afl} - Q_{Def\ mon\ prop} \quad (3.16)$$

Onde:

$Q_{inc}$  = Vazão relativa à bacia incremental, entre o aproveitamento e o(s) aproveitamento(s) de montante (m<sup>3</sup>/s);

$Q_{afl}$  = Vazão afluente ao reservatório, obtida pela equação 3.15 (m<sup>3</sup>/s);

$Q_{def\ mon\ prop}$  = Vazão defluente do(s) reservatório(s) de montante, devidamente propagada em condições de reservatório (m<sup>3</sup>/s).

Os valores das vazões incrementais obtidas a partir desse processo estão sujeitos a grandes oscilações diárias, muitas vezes incompatíveis com as observadas em condições naturais no período anterior ao enchimento do reservatório. Tais oscilações são devidas, principalmente, à metodologia de cálculo utilizada para obtenção das vazões afluentes (balanço hídrico) e são, em geral, relacionadas à precisão e à representatividade das leituras de níveis do reservatório e à dimensão da área do lago. Para suavizar tais oscilações, torna-se necessário realizar um tratamento das vazões incrementais obtidas.

A metodologia para tratamento das vazões incrementais foi baseada nas informações dos postos fluviométricos existentes em cada bacia. As vazões incrementais tratadas são proporcionais à soma das vazões observadas em tais estações e devidamente propagadas até o local do aproveitamento. As vazões incrementais diárias obtidas após esse tratamento guardam compatibilidade com as vazões incrementais mensais originais. Esse tratamento é conhecido como modulação a partir de dados fluviométricos (ONS, 2004b).

O tratamento das vazões incrementais foi efetuado com a aplicação de médias móveis centradas, quando os valores de vazões fossem inferiores a um limite pré-estabelecido. Para valores acima desse limite, as vazões incrementais diárias obtidas da Equação 3.16 foram mantidas. O uso dessa metodologia suaviza as excessivas oscilações diárias de vazões em períodos de estiagem e preserva a forma e o pico das cheias de médio e grande porte (ONS, 2003c).

### 3.4.9.3 - Propagação de vazões entre aproveitamentos

Foram utilizados para propagação das vazões defluentes e das vazões naturais do(s) aproveitamento(s) de montante para o aproveitamento em questão, os seguintes modelos: Modelo CPINS (semelhante à rotina de propagação de vazões do modelo SSARR), para o trecho do rio São Francisco entre as usinas Hidrelétricas (UHE's) de Três Marias, Queimado e Sobradinho, Método de Muskingum Modificado, para o trecho do rio São Francisco entre as UHE's de Sobradinho e Xingó, para o trecho do rio Paraná entre as UHE's de Jupia e Itaipu e para a bacia do rio Tocantins e simples defasagem das vazões de montante, considerando tempo de viagem em horas (ONS, 2001a).

### 3.4.9.4 - Reconstituição de vazões naturais nos locais de interesse do SIN

As vazões naturais nos locais de interesse do SIN foram obtidas a partir do uso da seguinte equação:

$$Q_{nat} = Q_{nat \text{ mon } prop} + Q_{inc \text{ trat}} + Q_{uso \text{ cons}} + Q_{evap} \quad (3.17)$$

Onde:

$Q_{nat}$  = Vazão natural no local do aproveitamento (m<sup>3</sup>/s);

$Q_{nat \text{ mon } prop}$  = Vazão natural do(s) reservatório(s) de montante, devidamente propagada em condições naturais (m<sup>3</sup>/s);



- $Q_{inc\ trat}$  = Vazão da bacia incremental do aproveitamento, após a aplicação do tratamento estabelecido no item 3.3.2 (m<sup>3</sup>/s);
- $Q_{uso\ cons}$  = Vazão relativa aos usos consuntivos da bacia incremental (m<sup>3</sup>/s);
- $Q_{evap}$  = Vazão relativa à evaporação do reservatório do aproveitamento (m<sup>3</sup>/s).

#### **3.4.10 - Regras de Operação da Cascata**

Este item procura descrever as regras atualmente adotadas para operação dos reservatórios que são considerados no planejamento e programação da operação energética de longo, médio e curto prazo e no tempo real. Vale ressaltar que aqui não são contempladas as regras de controle de cheias, que são objeto de documentos específicos, os quais são elaborados em conjunto pelo ONS e Agentes. Assim, limita-se em definir regras para a operação coordenada e sem vertimentos para os reservatórios integrados no Sistema Interligado Nacional - SIN.

A operação de todos os reservatórios é feita atendendo às restrições hidráulicas informadas pelos Agentes. Adicionalmente são consideradas eventuais restrições de geração de natureza elétrica associadas à operação do SIN, estas de responsabilidade do ONS, que possam vir a impactar na operação dos reservatórios do sistema. A operação dos reservatórios em cascata é coordenada de forma otimizada, buscando minimizar vertimentos e equilíbrio dos níveis dos reservatórios. Para isto, são utilizadas ferramentas que alocam a geração necessária para o atendimento energético das usinas das cascatas, considerando suas inserções nas regiões do Brasil. Estas ferramentas também calculam os balanços hídricos nos vários reservatórios, inclusive naqueles de regularização horária. Desta forma, também é realizado o controle dos níveis dos reservatórios para atendimento às restrições existentes.

A operação das usinas é determinada inicialmente no horizonte de longo prazo (1 a 12 meses), vislumbrando: atendimento energético das várias regiões do SIN, transferências energéticas entre estas regiões e condições conjunturais determinantes, ou seja, restrições de geração ou hidráulica, elevação das afluições ou violação do volume de espera. Incorporando os condicionantes da etapa anterior, no horizonte de médio prazo (1 a 5 semanas) são atendidas as restrições desta etapa, levando-se em consideração as inserções regionais, ou seja, as características específicas de cada região. Finalmente, a operação é determinada para o horizonte de curto prazo (1 a 7 dias), mantidos as condicionantes citadas anteriormente.

Particularmente para o sistema de cascata do Nordeste, no rio São Francisco, a operação da usina de Três Marias, para a programação horária atendida as restrições, procura maximizar a sua produtividade. Em relação aos demais reservatórios do sistema, procura-se maximizar a produtividade da cascata como um todo. Para isto, a alocação de geração contempla prioritariamente o despacho das usinas de maior produtividade. Considerando a necessidade de uma operação coordenada minimizando vertimentos, a alternativa de despacho é a maximização da usina de Paulo Afonso IV em relação às das usinas de Apolônio Sales e de Paulo Afonso I, II e III, propiciando maior rendimento energético, uma vez que o canal de adução de Paulo Afonso IV é derivado do reservatório de Moxotó, enquanto que seu canal de fuga está localizado num trecho do São Francisco, a jusante das usinas de Paulo Afonso I, II e III. Como a produtividade de Paulo Afonso IV é superior a soma das produtividades das usinas de Apolônio Sales e Paulo Afonso I, II e III, despacha-se prioritariamente em Paulo Afonso IV.

A alocação de geração em cada usina é feita procurando despachar as máquinas nas suas faixas de maior produtividade, atendendo às restrições e buscando atingir metas diárias compatíveis com o horizonte de programação.

O monitoramento das condições de armazenamento é responsabilidade do ONS e os agentes envolvidos, que participam dos estudos e da elaboração das diretrizes para operação dos reservatórios da cascata.

Ao longo do período seco faz-se o acompanhamento da evolução dos reservatórios. O PMO - Programa Mensal da Operação determina as defluências médias mensais do reservatório que são atualizadas semanalmente. Quando necessário, em função das afluências registradas, são reavaliados os valores de defluência dos aproveitamentos, sempre a partir de análises conjuntas entre o ONS e os Agentes.

Nas regras de operação é importante considerar as condições operacionais limites e restrições operativas das unidades geradoras e barragens do sistema da geração. Devem-se estabelecer recomendações e procedimentos, visando garantir a integridade física e a otimização do desempenho dos seus componentes e instalações, tais como: capacidade operacional de cada unidade geradora e faixas operacionais (CHESF, 2003b).

#### **3.4.11 - Cálculo dos Vetores de Evaporação**

A seguir é descrita a metodologia para definição dos vetores de evaporação líquida conforme apresentado no relatório do ONS para o SIN - Sistema Interligado Nacional (ONS, 2003b).

A metodologia do modelo Morton (CHESF, 1992), cuja base conceitual é a relação entre a evapotranspiração potencial e a real referente a uma área, sendo os dados de entrada descritos a seguir: temperatura do ar, temperatura do orvalho e insolação. Esta metodologia para a região Nordeste não apresenta resultados consistentes. Isto levou a indicar como representativo das evaporações líquidas, vetores de evaporação menos a precipitação do lago. Uma das grandezas estudadas na definição da evaporação em reservatórios é o coeficiente de passagem tanque/lago. A relação entre as evaporações do lago ( $E_{Lago}$ ) e do tanque Classe A ( $E_{Tanque}$ ) é dada pelo coeficiente  $K_a$ , conforme equação 3.18.

$$E_{lago} = K_a \cdot E_{tan\ que} \quad (3.18)$$

Onde:

$E_{\text{lago}}$  = Evaporação do lago;

$K_a$  = Coeficiente de passagem tanque/lago;

$E_{\text{tanque}}$  = Evaporação do tanque classe A.

Como exemplo, descreve-se a proposta de vetor de evaporação líquida para o aproveitamento da usina de Boa Esperança no rio Parnaíba. Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de Morton para o cálculo da evapotranspiração real (ETR) e da evaporação em lago ( $E_{\text{Lago}}$ ) para o aproveitamento de Boa Esperança apresentaram-se consistentes. Assim sendo, estes valores de evaporação líquida podem ser utilizados no processo de reconstituição das vazões naturais e nos estudos energéticos do setor elétrico em substituição àqueles apresentados no relatório do ONS no estudo dos vetores de evaporação líquida para o subsistema Nordeste (ONS, 2003b).

No processo de reconstituição das vazões naturais afluentes ao reservatório de Boa Esperança deverão ser utilizados os vetores de evaporação líquida calculados pelo SisEvapo - Sistema de Avaliação da Evaporação Líquida dos Reservatórios do SIN com as normais climatológicas 61-90, ou seja, os dados considerados de 1961 a 1990, uma vez que o reservatório de Boa Esperança iniciou seu enchimento na década de 1970. Nos estudos energéticos, de forma similar ao adotado nos Subsistemas Sul, Sudeste e Norte, dever-se-á adotar os valores de evaporação líquidas calculados pelo SisEvapo fazendo uso das normais climatológicas 61-90. O SisEvapo utiliza o modelo CRLE - Complementary Relationship Lake Evaporation, proposto por Morton. A definição dos valores de evapotranspiração real (ETR) foram calculados também pelo SisEvapo para o aproveitamento de Boa Esperança utilizando as normais climatológicas 61-90. Neste caso o SisEvapo utiliza o modelo CRAE - Complementary Relationship Areal Evapotranspiration, proposto por Morton (ONS, 2001b).

A Tabela 3.12 mostra o resultado dos vetores de evaporação das regiões Norte/Nordeste.

**Tabela 3.12** - Vetores de evaporação mensal (mm) para as regiões Norte e Nordeste.

NOME	MESES											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
SERRA DA MESA	27	8	16	26	52	70	85	93	105	60	45	36
CANA BRAVA	31	8	18	27	49	62	71	80	97	60	47	36
LAJEADO	12	7	9	3	15	42	66	78	79	48	26	30
TUCURUÍ	12	5	4	1	-9	-17	-8	-4	22	31	41	21
TRÊS MARIAS	-1	-2	28	47	61	61	58	49	49	35	21	22
SOBRADINHO	171	109	61	56	108	104	165	203	234	267	245	223
ITAPARICA	163	88	47	35	55	41	81	138	190	227	235	202
COMPLEXO PAF - MOX	163	88	47	35	55	41	81	138	190	227	235	202
XINGÓ	163	88	47	35	55	41	81	138	190	227	235	202
BOA ESPERANÇA	70	35	26	21	42	75	94	107	117	113	108	95

Fonte: Adaptado de ONS, 2003 b.

As restrições hidráulicas dos aproveitamentos hidrelétricos definidas no relatório da ONS intitulado: Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos (ONS, 2002), são apresentadas no anexo 8.2.

### 3.5 - COLETA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

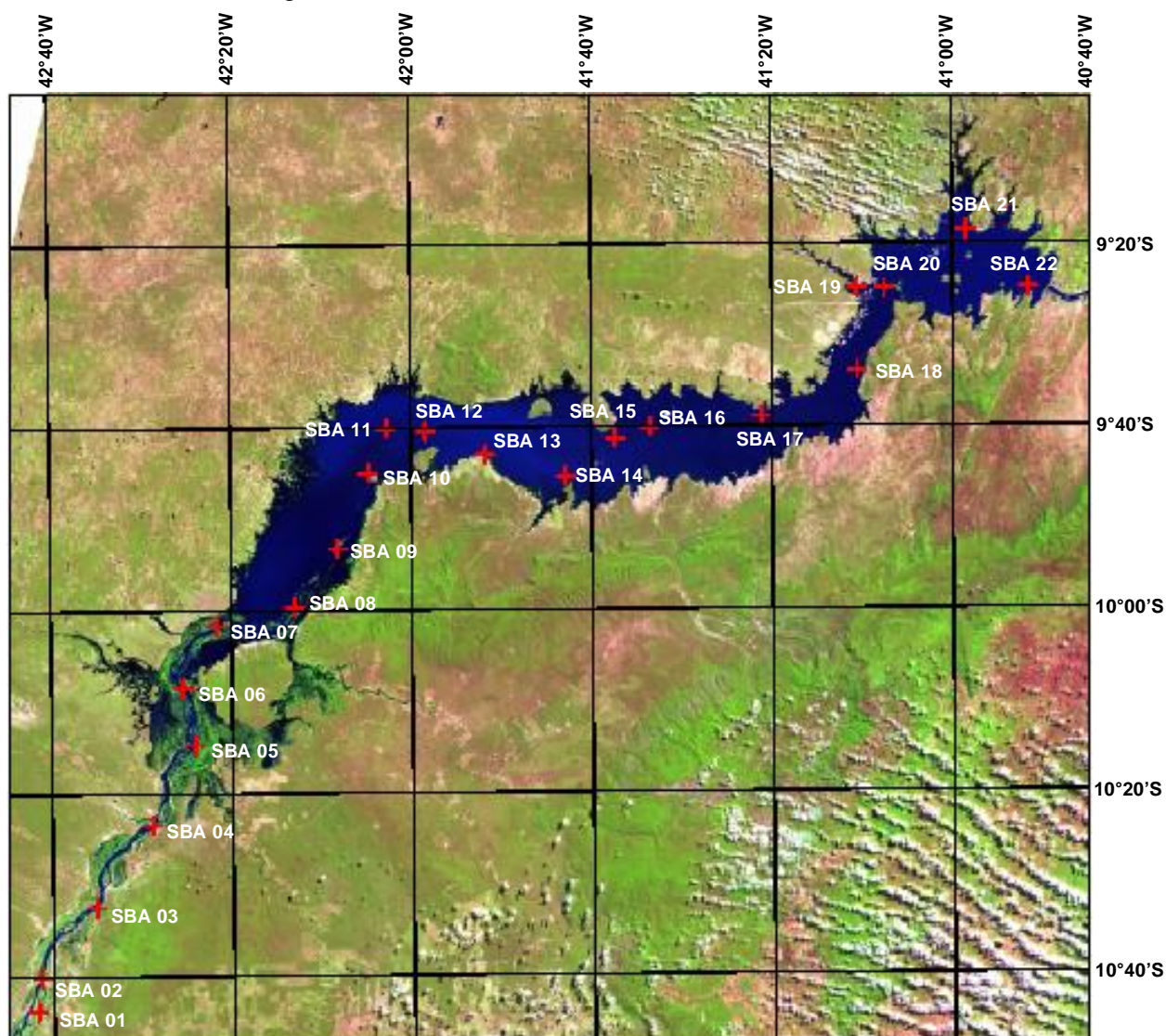
#### 3.5.1 - Metodologia de Trabalho na Coleta de Dados

A metodologia empregada para obter os parâmetros físico-químicos foi à adotada pelo relatório de Monitoramento Limnológico e da Produção Pesqueira do Reservatório de Sobradinho realizado pela Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE, 2003).

As estações de amostragem, num total de vinte e duas, foram distribuídas à montante da barragem, contemplando os quatro trechos principais do reservatório, a saber: porção inferior (à montante da barragem), incluindo o meandro da cidade de Casa Nova (BA); a porção norte, entre Casa Nova e Pilão Arcado (BA); a porção sul, entre Sobradinho e Sento Sé (BA); e a porção superior, entre Sento Sé, Pilão Arcado e Xique-Xique (BA), levando em consideração as diferentes



regiões do reservatório, a zona de transição rio para reservatório, suas diferentes reentrâncias e a presença de tributários. A localização das estações de amostragem consta na imagem de satélite do lago de Sobradinho em 2004 correspondente a cota média de 392,45 m equivalente a 99,27% do volume útil, conforme mostra a Figura 3.24.



**Figura 3.24** - Imagem do Satélite Landsat TM -7, na região do reservatório de Sobradinho, nos trechos: lótico, transição e lêntico a localização dos 22 (vinte e duas) estações de amostragem com espelho d'água no ano de 2004, com composição colorida nas bandas 3,4 e 5; e cenas 217/066 de 21/05/2004; 217/067 de 21/05/2004; 218/066 de 28/05/2004 e 218/067 de 28/05/2004.

As amostras limnológicas foram realizadas período de outubro de 2001 a abril de 2003 em uma frequência trimestral, resultando em sete eventos de amostragem: outubro/2001, janeiro/2002, abril/2002, julho/2002, outubro/2002, janeiro/2003 e abril/2003.

O objetivo desta análise é obter uma relação entre as grandezas físicas, tais como: cota, pluviometria e vazões afluentes com os parâmetros de qualidade selecionados.

As amostras de água para determinação das variáveis físicas e químicas foram coletadas com uma garrafa Van Dorn, com capacidade de 2,2 litros, sempre que possível, em três profundidades relativas em cada estação - superfície, meia-água e fundo. Após determinação *in situ* das variáveis, as amostras foram filtradas e acondicionadas em garrafas de tipo "PET" e acondicionadas em gelo, até o seu congelamento e armazenamento na base de apoio de Remanso - BA, e posterior transporte ao Laboratório de Limnologia da UFRPE, em Recife - PE (FADURPE, 2003). A Figura 3.25 mostra, o procedimento de coleta de amostras e análise de campo.



Fonte: Chesf - DMA - Departamento de Meio Ambiente

**Figura 3.25** - Coletas de amostras de água no reservatório de Sobradinho. Determinação analítica *in situ* (A) e coleta de amostra de água (B).

Segundo Silveira (2002), a avaliação do impacto ambiental nas bacias hidrográficas considera a indissociabilidade dos aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos. A indissociabilidade é estabelecida a partir da diluição de cargas poluidoras no espectro de variabilidade das vazões do corpo receptor.

Com relação à avaliação ambiental, verifica-se que a indissociabilidade dos aspectos qualitativos e quantitativos é fundamental para compreensão dos impactos, devido à amplitude de variação de vazão na pequena bacia onde uma mesma carga pode ser diluída (SILVEIRA, 2002).

Durante a pesquisa, os parâmetros físico-químicos da água do reservatório foram relacionados às grandezas físicas do reservatório, tais como cota, pluviometria e vazão da seguinte forma:

- a) Relacionaram-se as variações de cota, pluviometria e vazão com os parâmetros de qualidade, utilizando valores médios das três profundidades.
- b) Verificou-se a variação espacial dos parâmetros de qualidade apresentando variação da amplitude máxima e mínima e valores médios nas diferentes profundidades em cada estação de coleta do reservatório de Sobradinho.
- c) Relacionou-se, através de gráficos de dispersão, todos os valores coletados, valores médios e em três regiões ao longo do reservatório, nas estações em diferentes profundidades.

## **3.6 - METODOLOGIA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES**

### **3.6.1 - Solução Inicial**

O modelo SIMONE utiliza como solução inicial os valores de geração mínima e defluência mínima das usinas, a qual normalmente dará déficit quando do balanço energético.



### 3.6.2 - Utilização de Curvas-Guia

O modelo SIMONE utiliza curvas-guia para operação de reservatório no atendimento do balanço energético de cada região. Cada reservatório na simulação pode operar de três formas:

a) Configuração 01 (operação simultânea): o reservatório com esta configuração segue a curva-guia definida como equivalente para as regiões simuladas, ou seja, deverá aumentar ou reduzir sua vazão turbinada, visando atingi-la. Esta também é chamada de operação em paralelo. Caso todos os reservatórios de uma região tenham esta configuração, eles terão em média os mesmos valores de armazenamento. Isto será possível caso não hajam restrições violadas.

b) Configuração 02 (operação isolada): o reservatório com esta configuração segue a curva-guia definida para seu aproveitamento, ou seja, deverá aumentar ou reduzir sua vazão turbinada, visando atingir esta curva-guia. Esta operação é isolada e independe da curva-guia equivalente definida para as usinas operando simultaneamente. Esta hipótese pode ser utilizada para manter alguns reservatórios cheios ou vazios, independentes das evoluções dos outros reservatórios. Caso todos os reservatórios de uma região tenham esta configuração, eles seguirão valores específicos de armazenamento.

c) Configuração 03 (usina excluída da simulação): O reservatório com esta configuração não apresenta simulação hidráulica de evolução.

O modelo SIMONE define automaticamente 20 (vinte) curvas-guia por reservatório (de 0, 5, 10..., 95, 100%). Caso seja necessário é possível redefinir estas faixas para diferentes valores, visando adequá-las às necessidades da simulação.

A partir das diretrizes definidas pelas curvas-guia, o modelo calcula, durante as iterações, pequenos ajustes nos valores de geração das usinas de reservatório, tentando convergir para a curva-guia equivalente e sempre tentando obedecer às restrições determinadas na simulação.

### 3.6.3 - Eliminação de Déficits

Os déficits de energia são associados aos subsistemas e concorrem para sua eliminação todos os reservatórios do sistema. A eliminação de um déficit é sempre tentada através de um processo iterativo, no qual a cada iteração buscam-se recursos dos seguintes ativos energéticos:

- Os reservatórios com configuração para operação simultânea;
- Os reservatórios com configuração para operação isolada.

### 3.6.4 - Redução na Geração

O modelo SIMONE, durante as iterações, procura eliminar superávits de energia, reduzindo as gerações das usinas, respeitando as curvas-guia e as restrições. Caso não seja possível esta redução, aparecerá no balanço de geração um superávit.

### 3.6.5 - Limites da Vazão Turbinada

Conforme o manual do modelo SIMONE (CHESF, 2001), o cálculo dos limites da vazão turbinada mensal ou semanal de uma usina leva em conta a capacidade de geração contínua da usina e as restrições elétricas em vigor. A obtenção desses limites é feita através dos seguintes passos:

a) Definição da Capacidade de Geração Contínua ( $E_{MAX}$ ):

A capacidade de geração contínua da usina é definida a partir da sua disponibilidade de potência, para o seu estado atual de armazenamento, e de um fator que contempla: a capacidade máxima de geração, a redução devido à manutenção programada, e às saídas forçadas.

b) Limites de Geração ( $GH_{MX}$ ,  $GH_{MN}$ ):

Os limites de geração são determinados pelas seguintes equações:

$$GH_{MX} = MIN(G_{MX}, E_{MAX}) \quad (3.19)$$

e

$$GH_{MN} = MIN(G_{MN}, GH_{MX}) \quad (3.20)$$

Onde:

$GH_{MX}$  = Geração Hidráulica Máxima (MW);

$GH_{MN}$  = Geração Hidráulica Mínima (MW);

$G_{MX}$  = Geração Máxima (MW);

$G_{MN}$  = Geração Mínima MW);

$E_{MAX}$  = Energia Armazenada Máxima ou Capacidade de Geração Contínua (MWh).

A compatibilização entre os limites máximos é necessária para evitarem-se incoerências entre os limites em meses ou semanas em que a disponibilidade de potência é baixa.

c) Estimativa da Produtibilidade Média Mensal ou Semanal (P):

A produtividade média é estimada a partir das condições médias de montante ( $Y_{MOND}$ ) e jusante ( $Y_{JUMD}$ ) disponíveis através da seguinte relação:

$$P = REP \cdot QUEDA_{LÍQUIDA}(Y_{MOND}, Y_{JUMD}) \quad (3.21)$$

Onde:

$P$  = Produtividade média (MW/ m<sup>3</sup>/s);

$REP$  = Produtividade Específica (MW/ m<sup>3</sup>/s / m);

$QUEDA_{LÍQUIDA}$  = Altura líquida (m);

$Y_{MOND}$  = Cota média de montante (m);

$Y_{JUMD}$  = Cota média de jusante (m).

d) Limites de Vazão Turbinada Média Mensal ou Semanal:

Os limites de vazão turbinada média são definidos a partir das variáveis obtidas anteriormente através das seguintes relações:

$$QTU_{MXMD} = \frac{GH_{MX}}{P} \quad (3.22)$$

e

$$QTU_{MNMD} = \frac{GH_{MN}}{P} \quad (3.23)$$

Onde:

$QTU_{MXMD}$  = Vazão Turbinada Máxima Média (m<sup>3</sup>/s);

$QTU_{MNMD}$  = Vazão Turbinada Mínima Média (m<sup>3</sup>/s).

### 3.6.6 - Disponibilidade de Potência

A disponibilidade de potência de uma usina corresponde à sua produção máxima instantânea, considerando-se todas as suas máquinas em operação. No seu cálculo, não são contemplados os eventos de saída de manutenção programada e forçada.

A produção de uma unidade geradora, num dado instante, é definida pelas condições de operação da turbina e do gerador, que podem ser traduzidas em termos:

- Da queda líquida ou altura líquida;
- Da vazão turbinada (engolimento);
- Do rendimento do conjunto turbina/gerador.

Na sua versão atual, o modelo de simulação SIMONE permite, além da abordagem simplificada, uma representação mais detalhada do conjunto. Nesse segundo enfoque, o modelo usa relações que podem ser ajustadas a partir dos pontos de operação de cada conjunto gerador. Esse tipo de modelagem tem como vantagens:

- Representação da variação do rendimento da turbina;
- Adaptabilidade, ou seja, aprendizado com a evolução da vida útil da máquina.

Finalmente, cabe lembrar que, além da representação detalhada do conjunto turbina/gerador, o modelo SIMONE considera, também, a existência de dois ou mais conjuntos de unidades geradoras com características diferentes numa mesma usina (CHESF, 2001).

### 3.6.7 - Cota do Canal de Fuga Médio Mensal

O nível de jusante de uma usina num dado instante está relacionado à sua produção, ou seja, a sua vazão turbinada. Assim, ao longo de um período, o nível do canal de fuga de uma usina varia em consequência do diagrama de geração imposto para a usina no período.

No modelo SIMONE, dado o intervalo de tempo (mês ou semana) e a curva de carga mensal ou semanal, admite-se que o diagrama de operação das usinas seja constante, o que se traduz no turbinamento de um valor constante ao longo de todo o mês ou semana.

O cálculo do nível médio do canal de fuga contempla os seguintes fatores:

- Remanso do aproveitamento de jusante (caso exista);
- Turbinamento e vertimento na usina em questão.

O fenômeno de remanso é representado no modelo através do nível médio de montante da usina de jusante.

O efeito do vertimento no canal de fuga de uma usina é representado adicionando-se, quando for o caso, a vazão vertida à vazão turbinada para a definição da vazão defluente total e conseqüente uso do polinômio “canal de fuga x descarga”.

A vazão total defluente média mensal ou semanal é dada pela soma:

$$Q = QTU + QVD \quad (3.24)$$

Onde:

$Q$  = Vazão total defluente média ( $m^3/s$ );

$QTU$  = Vazão defluente turbinada ( $m^3/s$ );

$QVT$  = Vazão defluente vertida ( $m^3/s$ ).

Para evitar eventuais inconsistências dos resultados causadas pela falta de informação das famílias de polinômios no cadastro de usinas, o nível médio de jusante ( $Y_{JUMD}$ ) é definido como o maior valor entre o resultado da aplicação do polinômio “canal de fuga x vazão defluente” e o nível médio de montante da usina de jusante. Dessa forma:

$$Y_{JUMD} = MAX(CFYJQD_{n,Q}, YM_{JUS}) \quad (3.25)$$

Onde:

$Y_{JUMD}$  = Nível médio de jusante (m);

$CFYJQD_{n,Q}$  = Polinômio do canal de fuga x vazão defluente total  
( $n$  = grau do Polinômio,  $m \times m^3/s$ );

$YM_{JUS}$  = Nível médio de montante da usina de Jusante (m).

### 3.6.8 - Queda Líquida

Segundo o manual do modelo SIMONE (CHESF, 2001), este permite três formas de representação para a altura equivalente às perdas hidráulicas dentro das unidades geradoras ( $H_{PERDAS}$ ):

a) Percentual da queda bruta (HB):

$$H_{PERDAS} = K \cdot HB \quad (3.26)$$

b) Altura de perdas hidráulicas constante:

$$H_{PERDAS} = K \quad (3.27)$$

c) Variável com a vazão turbinada:

$$H_{PERDAS} = K \cdot QTU^2 \quad (3.28)$$

A definição do tipo de representação e do valor de K é feito para cada usina no seu cadastro. Assim, dado um nível de montante ( $Y_{MOND}$ ) e um nível de jusante ( $Y_{JUMD}$ ), a altura de queda líquida ( $H_{LIQ}$ ) é definida como:

$$H_{LIQ} = HB - H_{PERDAS} \quad (3.29)$$

Onde:

- $H_{PERDAS}$  = Perdas Hidráulicas (m);
- $HB$  = Altura Bruta (m);
- $K$  = Constante (adimensional);
- $QTU$  = Vazão defluente Turbinada ( $m^3/s$ );
- $H_{LIQ}$  = Altura líquida (m).

### 3.6.9 - Produtividade Média Mensal ou Semanal

O modelo admite que toda a transformação de água em energia se dá para valores médios dos níveis de montante ( $Y_{MOND}$ ) e de jusante ( $Y_{JUMD}$ ), e da produtibilidade específica da usina. Portanto, a produtibilidade média mensal ou semanal (RMD) da usina é definida como:

$$RMD = REP \cdot QUEDA_{LIQUIDA}(Y_{MOND}, Y_{JUMD}) \quad (3.30)$$

Onde:

- $RMD$  = Produtividade média da usina (MW /  $m^3/s$ );
- $REP$  = Produtividade Específica de cada usina (MW /  $m^3/s / m$ );
- $QUEDA_{LIQUIDA}$  = Altura líquida (m);
- $Y_{MOND}$  = Nível médio de montante (m);

$Y_{JUMD}$  = Nível médio de jusante (m).

### 3.6.10 - Energia Gerada

A energia gerada (EHD) é calculada a partir da vazão turbinada (QTU) e da produtividade média mensal ou semanal da usina, sendo calculada conforme a seguinte relação:

$$EHD = QTU \cdot RMD \quad (3.31)$$

Onde:

$EHD$  = Energia gerada (MWh);

$QTU$  = Vazão defluente turbinada (m<sup>3</sup>/s);

$RMD$  = Produtividade Média (MW / m<sup>3</sup>/s).

### 3.6.11 - Energia Vertida

Conforme o manual do modelo SIMONE (CHESF, 2001), a energia vertida em um aproveitamento pode ser dividida em turbinável e não turbinável. A energia vertida turbinável é decorrente da parcela da vazão vertida que poderia ser gerada no aproveitamento caso o mercado a ser atendido fosse maior. Esta parcela é definida como o menor valor entre a vazão vertida e a folga de vazão na turbina, que por sua vez é definida a partir do engolimento máximo mensal ( $QE_{MXMD}$ ) e a vazão turbinada no mês (QTU), de acordo com a expressão:

$$QVT_u = \text{MIN}(QVT, QE_{MXMD} - QTU) \quad (3.32)$$

Onde:

$QVT_u$  = Vazão vertida turbinável (m<sup>3</sup>/s);

$QVT$  = Vazão vertida (m<sup>3</sup>/s);

$QE_{MXMD}$  = Engolimento máximo mensal (m<sup>3</sup>/s);



$QTU$  = Vazão defluente turbinada ( $m^3/s$ ).

Deve ser ressaltado que a definição do engolimento máximo mensal ou semanal da usina leva em conta as restrições hidráulicas e as limitações físicas das máquinas, definidas para a sua operação no período.

A energia vertida turbinável é então, definida como o produto da vazão vertida turbinável pela produtividade média da usina de acordo com:

$$EVT_{TU} = Q \cdot RMD \quad (3.33)$$

A energia vertida total é calculada para cada aproveitamento a partir da seguinte relação:

$$EVT_{TO} = QVT \cdot RMD \quad (3.34)$$

Onde:

$EVT_{TU}$  = Energia vertida turbinável (MWh);

$EVT_{TO}$  = Energia vertida total (MWh);

$Q$  = Vazão vertida turbinável ( $m^3/s$ );

$RMD$  = Produtividade Média (MW /  $m^3/s$ ).

Conseqüentemente, a energia vertida não turbinável é a diferença entre a energia vertida total e a turbinável.

### 3.6.12 - Energia Natural Afluente

A energia natural afluente a um sistema é calculada totalizando-se a energia afluente a cada uma de suas usinas. A energia natural afluente a cada usina é calculada a partir da seguinte relação:

$$EN_{AF} = RMD_{ENAF} \cdot QNA \quad (3.35)$$

Onde:

$EN_{AF}$  = Energia natural afluyente (MWh);

$RMD_{ENAF}$  = Produtibilidade média para cálculo da energia afluyente (MW / m<sup>3</sup>/s);

$QNA$  = Vazão natural afluyente (m<sup>3</sup>/s).

### 3.6.13 - Energia Armazenada

No modelo SIMONE, adotaram-se as mesmas premissas do modelo para sistema equivalente, ou seja, aquelas no OPUS - Modelo de Simulação das usinas Individualizadas (ELETROBRÁS, 1990a) e SUI - Simulação a Usinas Individualizadas (ELETROBRÁS, 1990b).

- Operação em paralelo dos reservatórios a partir dos volumes iniciais pré-fixados;
- Nível de montante numericamente igual à cota de montante equivalente (CM), definida como o valor médio geométrico das cotas no início e final de cada período, as quais são obtidas a partir da integral do polinômio “cota x volume” dos reservatórios;
- Nível de jusante numericamente igual ao nível do canal de fuga nominal, constante do cadastro das usinas;

Para o cálculo da energia armazenada, a produtividade de cada usina é definida como:

$$R = RESPEAR \cdot QUEDA_{LÍQUIDA}(CM, Y_{JUNM}) \quad (3.36)$$

Onde:

$R$  = Produtividade (MW / m<sup>3</sup>/s);

$RESPEAR$  = Produtividade equivalente (MW / m<sup>3</sup>/s);

$QUEDA_{LÍQUIDA}$  = Altura líquida (m);

$CM$  = Cota de montante equivalente (m);

$Y_{JUNM}$  = Cota do canal de fuga nominal (m).

A partir dos valores de produtividade obtidos (R), calcula-se para cada usina a produtividade acumulada (RT) na cascata, nas usinas de cada subsistema, correspondente a produtividade de cada usina de jusante.

Assim, para cada reservatório, a energia armazenada para um dado volume do dia ( $VOL_{DIA}$ ) é definida como:

$$EAR = \frac{(VOL_{DIA} - V_{MN}) \cdot RT}{2,628} \quad (3.37)$$

Onde:

$EAR$  = Energia armazenada (MWh);

$VOL_{DIA}$  = Estado de armazenamento para o qual se calcula a energia armazenada ( $hm^3$ );

$V_{MN}$  = Volume correspondente à cota mínima ( $hm^3$ );

$RT$  = Produtividade acumulada (MW /  $m^3/s$ );

2,628 = Constante de transformação de  $m^3/s$  para MWmês, correspondente ao número de segundos médio no mês.

### 3.6.14 - Disponibilidade de Potência no Mês ou Semana

A disponibilidade de potência de uma usina num mês ou semana é definida como o valor médio entre a disponibilidade de início e fim de mês.

### 3.6.15 - Vazão Evaporada

A vazão evaporada é no início de cada iteração calculada em função da área do espelho d'água definida a partir da cota média de montante ( $Y_{MOIN}$ ) e de coeficientes mensais de evaporação ( $CF_{EVP}$ ) segundo a expressão:

$$QEV = \acute{A}REA \cdot CF_{EVP} \quad (3.38)$$

Onde:

$QEV$  = Vazão evaporada ( $m^3/s$ );

$\acute{A}REA$  =  $POL(CF_{PAC}, Y_{MOIN})$ ;

$CF_{EVP}$  = Coeficientes mensais de evaporação;

$CF_{PAC}$  = Coeficientes do polinômio;

$POL$  = equação do polinômio "Cota x Área" na cota indicada;

$Y_{MOIN}$  = Cota de montante no início do período (m).

Após o cálculo da cota de montante no final de cada período corrigi-se a vazão evaporada em função da cota de montante média deste período simulado. Em todos os reservatórios, é possível a utilização de vazões evaporadas mensais ou semanais pré-definidas (CHESF, 2001).

### **3.7 - APLICAÇÕES DO MODELO SIMONE MODIFICADO**

Conforme apresentado no Documento de Requisitos do Modelo SIMONE (Phd, 2004), seguem abaixo as descrições das principais aplicações do referido modelo.

O SIMONE é um sistema utilizado na CHESF com desenvolvimento em linguagem de programação Fortran e armazenamento de dados em arquivos texto, sendo monousuário, cujo uso pode causar dúvidas ou erros na elaboração de cenários de simulação.

No atual contexto da organização, os serviços a serem oferecidos pelo novo sistema estarão disponíveis para os usuários na Intranet da CHESF, além do atendimento aos usos múltiplos de reservatório visando os aspectos qualitativos e quantitativos da água armazenada no reservatório, com o objetivo de atender não somente ao mercado de consumo de energia, como também a todos os usuários da borda do lago.

### 3.7.1 - Descrição Geral do Modelo SIMONE Modificado

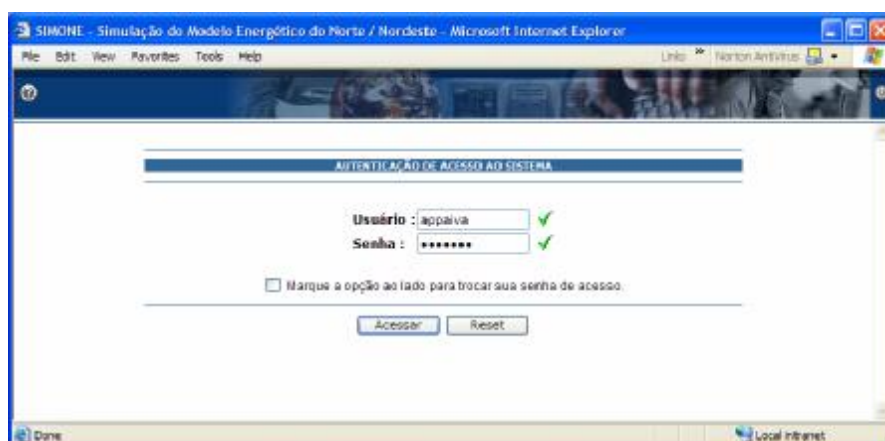
O aperfeiçoamento do novo modelo SIMONE tem como principal objetivo sua disponibilização na Intranet da CHESF, oferecendo aos seus usuários maior comodidade para realização de simulações, consultas e dentre uma série de outras operações, descritas a seguir, que o usuário poderá realizar.

Dentre os benefícios decorrentes podem ser citados:

- Vários usuários poderão fazer simulação concomitantemente;
- Maior integração e automação dos cálculos, ou seja, redução da possibilidade de erros humanos;
- Interface visual amigável;
- Atualização tecnológica.

O novo modelo SIMONE é um sistema departamental acessado via Intranet, que permite aos usuários realizar, manter arquivada, consultar e imprimir relatórios de qualquer simulação. O usuário tem acesso ao sistema através de um cadastramento que é realizado pelo administrador no próprio sistema.

Ao entrar no sistema via Intranet, o usuário informa seu login e a senha de acesso, conforme mostra a Figura 3.26.



**Figura 3.26** - Tela de acesso ao modelo SIMONE.

O sistema deve fornecer ao usuário a possibilidade de realizar diversas simulações, inclusive novas simulações a partir de outras simulações mantendo-se a antiga, além de permitir realização de consultas e impressão de relatórios.

### **3.7.2 - Atores Cadastrados no Novo Modelo**

#### **a) Administrador:**

Ator responsável pelo cadastramento, manutenção, inicialização de senhas e perfil de uso das funções dos usuários do sistema. Em resumo, pela definição de quem, como e o que cada usuário utilizará o sistema.

#### **b) Mantenedor:**

Ator responsável pelos cadastros de usinas, reservatórios, vazões naturais, usuários de reservatório, ou seja, pelas informações que espelham a realidade de cada componente necessário para simulação do modelo energético desejado.

#### **c) Usuário:**

Ator responsável pela simulação do modelo energético. Será necessário informar dados específicos para cada simulação, estes dados serão denominados "Dados da Simulação".

Cada usuário poderá criar e salvar uma nova simulação utilizando as informações de uma simulação anterior dele ou de outro usuário qualquer. O usuário também poderá manter e executar várias simulações (Phd, 2004).

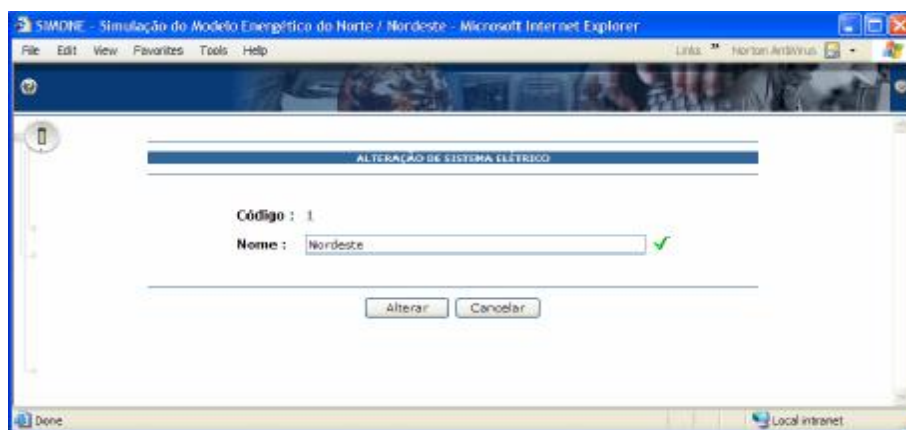
### **3.7.3 - Cadastro de Dados Operacionais**

#### **a) Sistemas Elétricos:**

Neste caso é possível criar Sistemas Elétricos, sendo cada usina cadastrada pertencente a um dos sistemas (Figura 3.27).



(A)

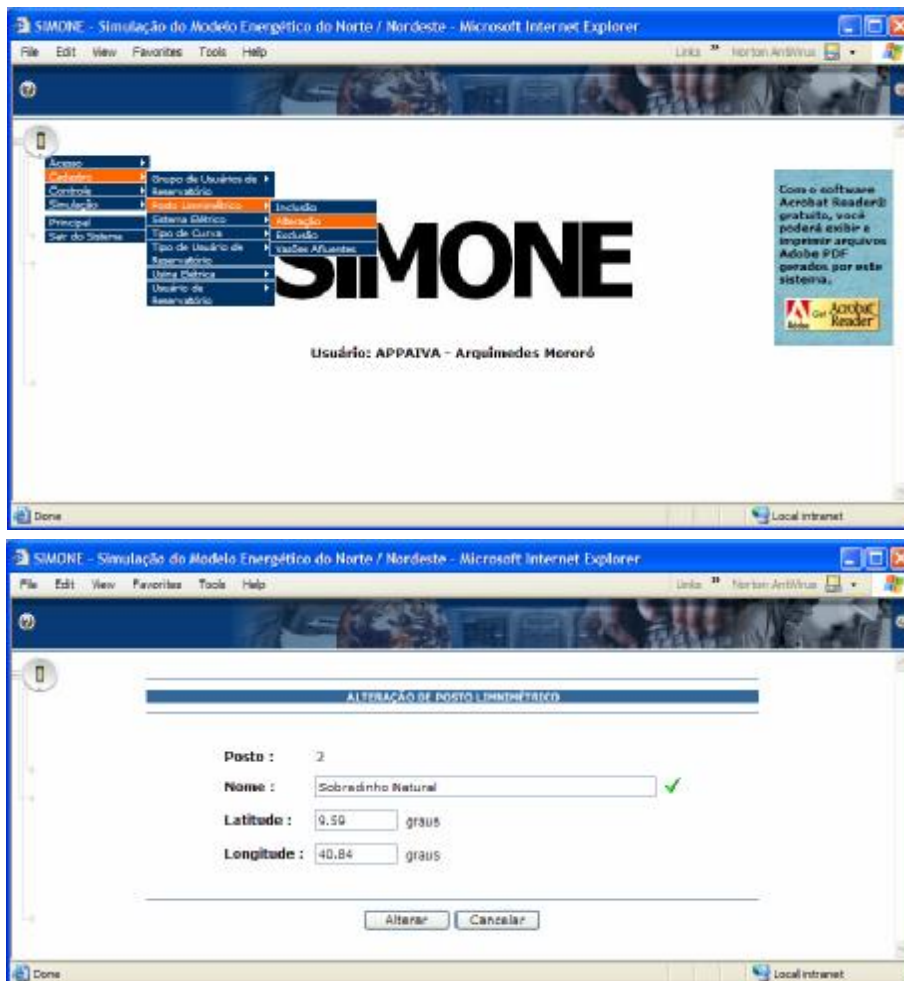


(B)

**Figura 3.27** - Telas de cadastro de sistema elétrico.

b) Postos Limnimétricos:

Pode-se cadastrar postos limnimétricos para incluir as informações de vazões naturais e incrementais, conforme mostra a Figura 3.28.



(A)

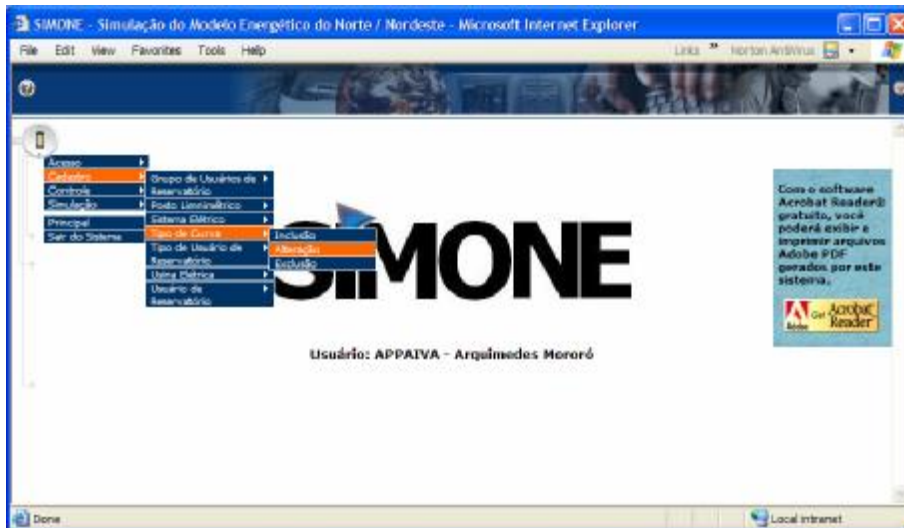
(B)

**Figura 3.28** - Telas de cadastro dos Postos Limnimétricos.

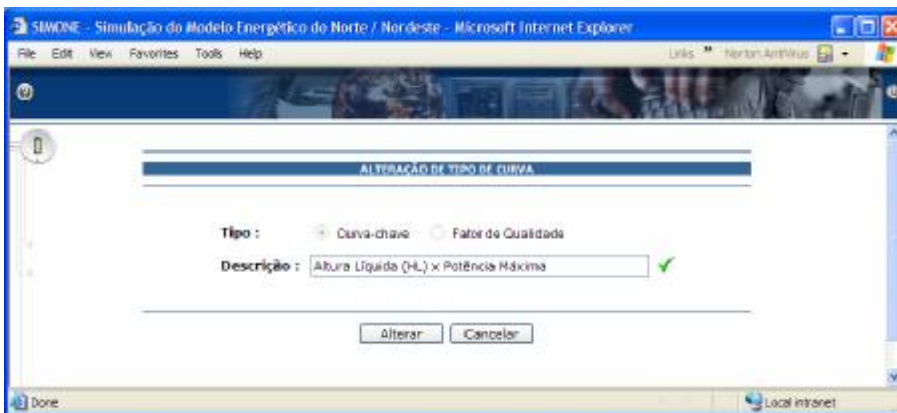
c) Tipos de Curvas:

Neste item é possível criar os tipos de curvas-chave e de fatores de qualidade de água, conforme se observa na Figura 3.29.





(A)



(B)

**Figura 3.29** - Telas de cadastro de tipo de curva.

d) Usinas Elétricas:

Podem-se cadastrar as informações relacionadas aos dados cadastrais das usinas elétricas pertencente a um sistema elétrico, conforme mostram as Figuras 3.30 e 3.31.

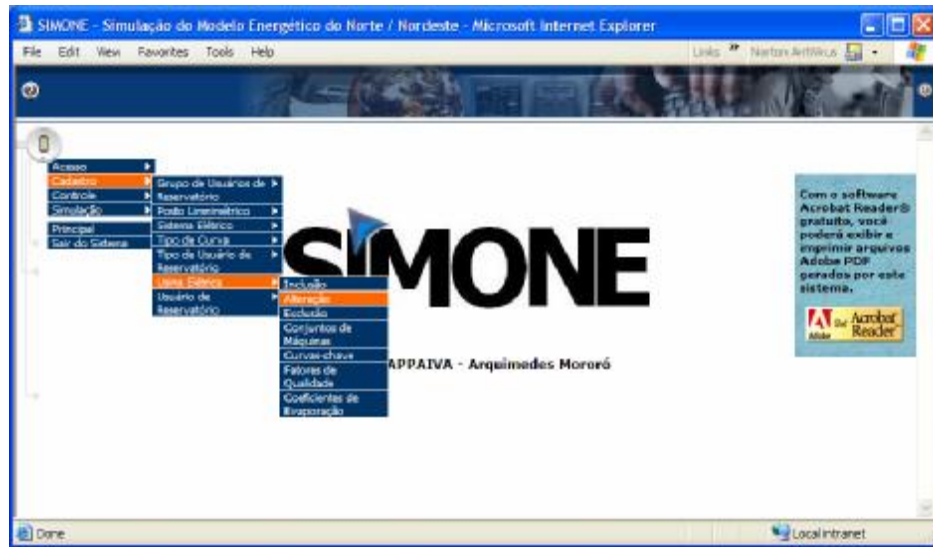


Figura 3.30 - Tela de acesso ao cadastro de usinas elétricas.

SIMONE - Simulação do Modelo Energético do Norte / Nordeste - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help Links Norton Antivirus

ALTERAÇÃO DE USINA ELÉTRICA

Sigla da Usina : USB

Nome : Sobradinho ✓

Cascata do Sistema Elétrico : Nordeste ✓

Gera para o Sistema Elétrico : Nordeste ✓

Tipo : RESERVATÓRIO ✓

Ordem na Cascata : 2 ✓

**Postos Limnométricos**

Vazão Incremental : 003 - Sobradinho Incremental m<sup>3</sup>/s ✓

Vazão Natural : 002 - Sobradinho Natural m<sup>3</sup>/s ✓

Fator de Capacidade Máxima : 1.0 ✓

IP : 8.091 % ✓

TEIF : 2.533 % ✓

Representação do Conjunto :  DETALHADA  SIMPLIFICADA ✓

Usina a Jusante : Itaipuca \*

Tempo Médio até Usina a Jusante : 2.5 dias

Perdas Hidráulicas :  %HB  CTE  K\*HB\*\*2 ✓

Fator de Perdas Hidráulicas : 0.5 ✓

Tipo de Turbina :  FRANCIS  KAPLAN  OUTRAS ✓

Cota do Canal de Fuga Médio : 362.5 m ✓

Vertimento x Canal de Fuga :  CONSIDERA  NÃO CONSIDERA ✓

Máquinas Base p/ Geração : 3 ✓

**Dados de Reservatórios**

Sigla : RSB ✓

Volume Máximo : 34116.0 hm<sup>3</sup> ✓

Volume Mínimo : 5447.0 hm<sup>3</sup> ✓

Volume da Crista do Vertedor : 5447.0 hm<sup>3</sup> ✓

Volume do Canal de Desvio : 0.0 hm<sup>3</sup> ✓

Latitude : 9.59 graus

Longitude : 40.84 graus

\* Atenção: Para marcar mais de 1 opção, basta pressionar a tecla «Ctrl» e clicar nas opções desejadas.

Alterar Cancelar

Done Local intranet

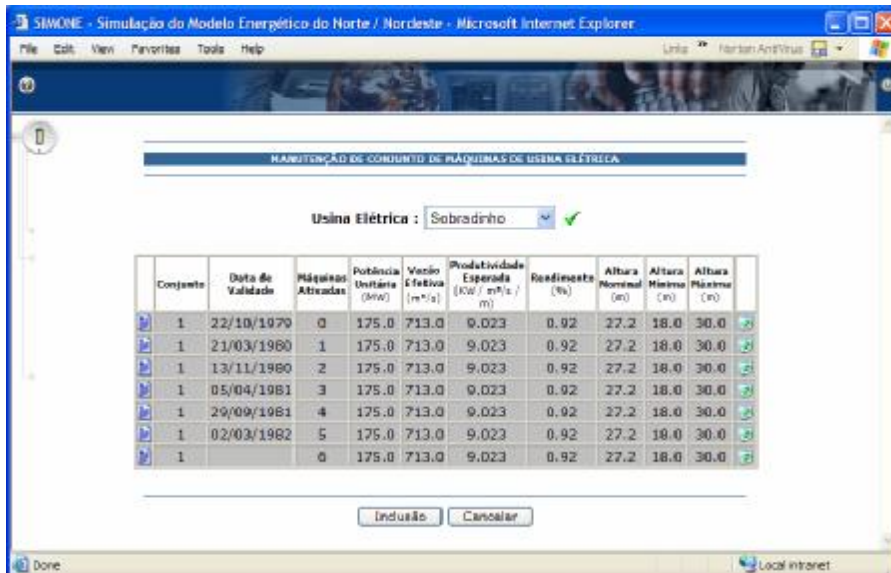
Figura 3.31 - Tela de entrada para a inclusão dos dados cadastrais das usinas elétricas.

e) Conjunto de Máquinas de Usinas Elétricas:

Neste caso, é possível criar os Conjuntos de Máquinas das usinas elétricas do tipo reservatório, como também o histórico dos mesmos, conforme a data de entrada em operação de cada unidade geradora (ver Figura 3.32).



(A)

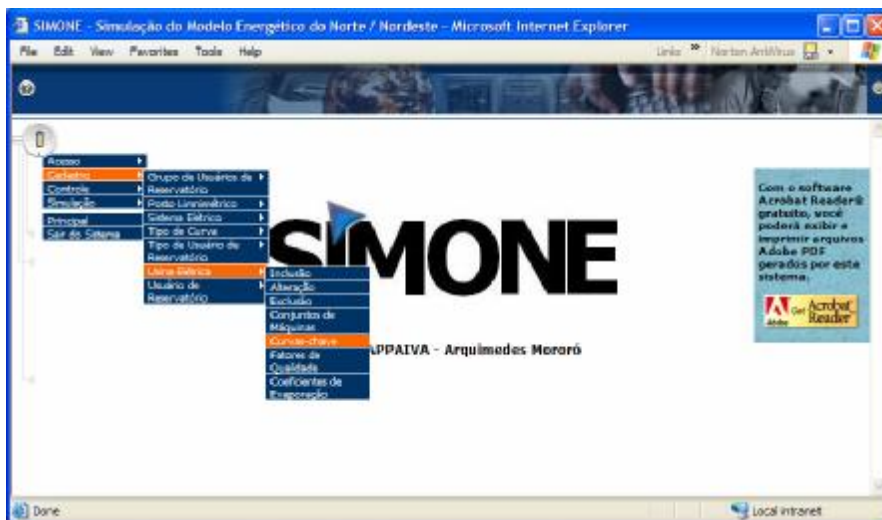


(B)

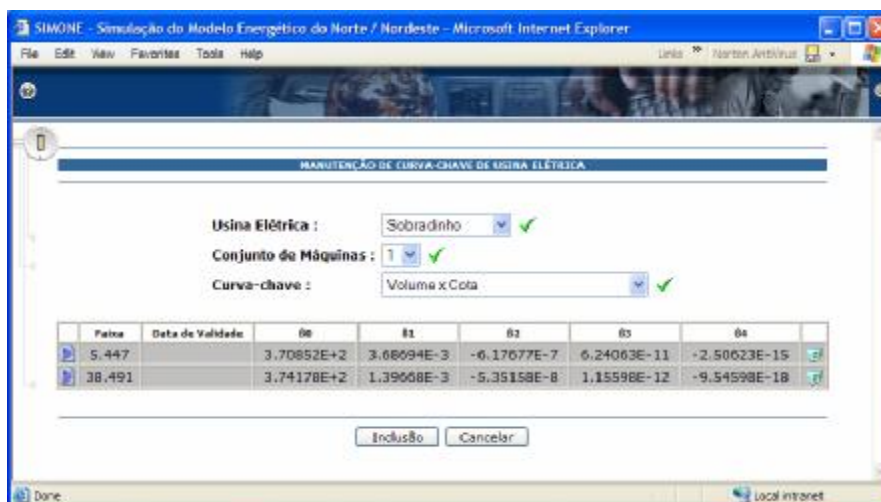
**Figura 3.32** - Telas de entrada para a inclusão dos dados conjuntos de máquinas das usinas elétricas do tipo reservatório.

f) Curvas-chave de Conjunto de Máquinas de Usinas Elétricas:

Podem-se criar as curvas-chave dos conjuntos de máquinas das usinas elétricas do tipo reservatório, como também o histórico das mesmas, conforme se observa na Figura 3.33.



(A)

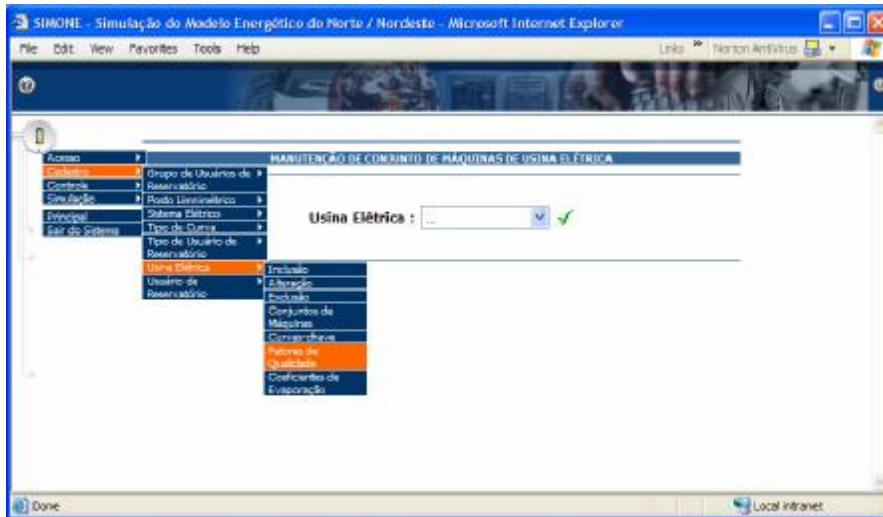


(B)

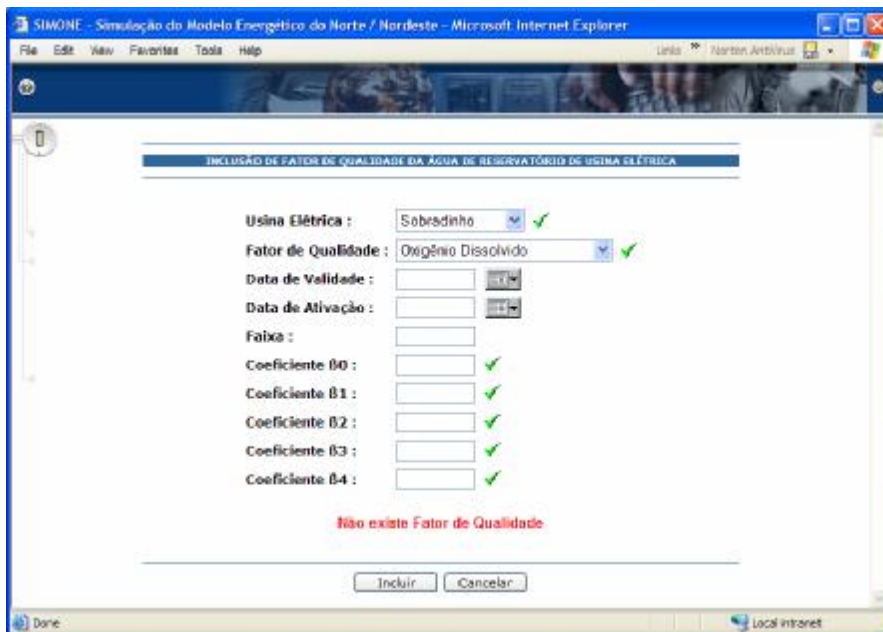
Figura 3.33 - Telas de cadastro das curvas-chave das usinas hidrelétricas.

g) Curvas dos Fatores de Qualidade de Água de Reservatórios:

Neste item, é possível criar os fatores de qualidade da água dos reservatórios das usinas elétricas do tipo reservatório, como também o histórico de curvas, quando estas estiverem definidas (Figura 3.34).



(A)



(B)

**Figura 3.34** - Telas de cadastro curvas dos fatores de qualidade de água de reservatórios.

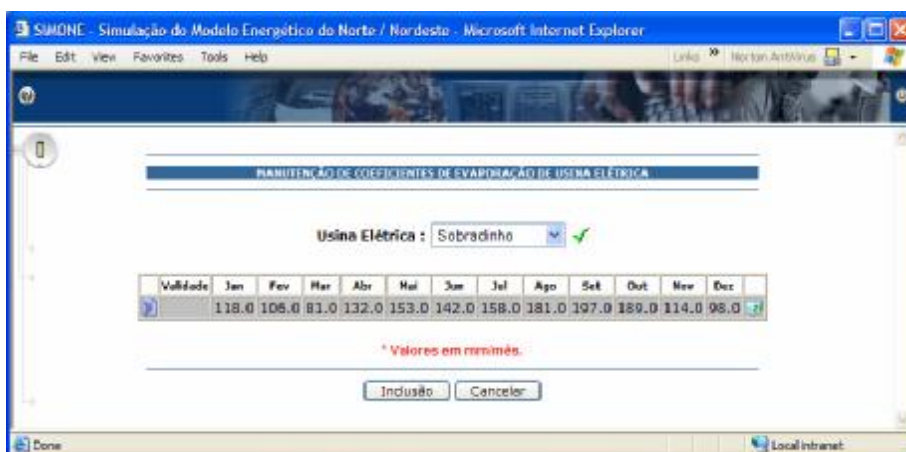


## h) Coeficiente de Evaporação de Usinas Elétricas

Podem-se criar os coeficientes de evaporação das usinas elétricas do tipo reservatório, como também o histórico de vetores, conforme mostra a Figura 3.35.



(A)



(B)

Figura 3.35 - Telas de cadastro dos coeficientes de evaporação.

i) Vazões Naturais e Incrementais:

Neste item, é possível cadastrar as vazões naturais afluentes mensais de cada posto limnimétrico. O sistema calculará automaticamente os valores médios anuais dessas vazões, bem como as vazões mínimas, máximas e médias mensais de longo termo. Os dados serão armazenados para futuras simulações baseadas nos dados históricos ou nas médias de longo termo (Figuras 3.36 e 3.37).



Figura 3.36 - Telas de acesso aos dados de vazões naturais e incrementais.



SimONE - Simulação do Modelo Energético do Norte / Nordeste - Microsoft Internet Explorer

MANUTENÇÃO DE VAZÕES AFLUENTES DE POSTO LIMNIMÉTRICO

Posto Limnométrico : 002 - Sobradinho Natural

Validade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1931	4.676	4.905	6.630	7.333	4.467	2.397	1.870	1.619	1.448	1.376	1.935	2.207	3.387
1932	4.036	4.531	3.214	1.976	1.425	1.202	1.376	995	905	982	2.107	3.594	2.174
1933	5.014	5.516	3.429	2.692	1.805	1.357	1.259	1.072	915	1.194	1.799	3.336	2.448
1934	6.110	4.222	2.296	1.615	1.785	1.167	997	697	799	677	905	1.605	1.930
1935	4.519	5.442	5.408	4.710	3.740	2.010	1.557	1.237	1.055	1.079	1.178	2.985	2.863
1936	2.696	2.664	4.174	2.764	2.109	1.300	1.092	934	861	887	1.597	2.724	1.962
1937	4.643	5.598	4.242	2.888	2.237	1.454	1.231	1.036	909	920	2.395	4.703	2.672
1938	6.307	4.237	3.850	2.372	1.613	1.419	1.157	1.033	956	914	1.538	2.957	2.356
1939	5.096	5.897	4.891	2.156	1.627	1.258	1.307	1.035	936	1.285	1.020	1.707	2.316
1940	3.103	4.739	5.500	4.297	1.914	1.410	1.387	1.055	861	926	2.138	3.793	2.504
1941	5.004	4.423	4.132	4.791	2.721	1.658	1.423	1.260	1.022	1.137	1.670	2.315	2.619
1942	4.624	4.420	5.277	3.360	2.274	1.547	1.300	1.117	1.024	1.324	2.274	5.170	2.804
1943	6.185	9.469	7.966	5.097	2.881	2.113	1.774	1.522	1.290	1.394	2.205	5.150	3.889
1944	6.328	4.864	4.749	3.729	2.518	1.738	1.468	1.278	1.102	962	1.651	3.848	2.845
1945	5.032	6.944	7.973	7.150	8.794	3.939	2.591	2.078	1.793	1.978	3.267	5.593	4.792
1946	7.284	10.080	4.595	5.591	3.581	2.453	2.009	1.724	1.497	1.518	2.171	3.769	3.815
1947	3.740	5.142	5.708	7.283	4.318	2.353	1.942	1.626	1.613	1.438	3.112	4.248	3.530
1948	6.343	4.520	5.422	4.016	2.210	1.846	1.591	1.359	1.207	1.323	1.504	5.155	3.038
1949	7.850	9.219	13.034	7.136	3.499	2.580	2.155	1.820	1.547	1.464	2.929	2.944	4.657
1950	4.451	4.716	3.461	3.784	2.620	1.742	1.515	1.305	1.076	1.266	2.138	4.127	2.672
1951	4.179	4.156	4.439	4.855	2.522	1.846	1.487	1.276	1.103	1.027	942	1.641	2.445
1952	3.310	4.717	5.792	6.938	3.257	1.971	1.605	1.312	1.192	1.136	1.782	3.393	3.021
1953	3.563	1.792	2.684	3.741	1.934	1.308	1.108	972	858	1.161	1.411	3.189	1.980
1954	4.405	2.779	2.780	2.420	1.444	1.201	979	852	715	645	880	3.544	1.887
1955	2.310	4.051	3.165	2.616	1.437	1.072	509	788	678	661	1.977	3.305	1.814
1956	5.370	2.215	4.585	2.543	1.773	1.640	1.325	1.067	903	841	1.468	3.687	2.292
1957	5.948	7.119	6.903	7.965	5.817	2.709	2.033	1.644	1.373	1.522	1.416	4.341	4.053
1958	3.623	5.212	3.385	3.104	2.421	1.697	1.413	1.421	1.128	1.518	1.838	1.798	2.361
1959	3.601	3.660	3.495	2.708	1.364	1.139	1.015	906	820	847	1.600	2.711	1.980
1960	3.291	5.729	6.124	6.060	2.456	1.764	1.388	1.151	979	902	1.076	4.172	2.907
1961	5.566	6.039	6.239	3.566	2.415	1.789	1.424	1.223	1.034	925	1.137	1.725	2.808
1962	3.689	5.513	4.511	3.228	2.063	1.528	1.314	1.032	881	1.212	2.008	3.210	2.498
1963	5.534	6.608	3.498	1.687	1.402	1.119	991	898	801	712	947	1.106	2.082
1964	3.546	7.739	5.278	2.567	1.585	1.188	1.018	924	733	878	2.855	4.251	2.678
1965	5.195	5.055	5.558	5.833	2.871	1.836	1.508	1.270	1.048	1.431	2.665	4.172	3.192
1966	4.409	6.182	6.713	4.280	2.624	1.908	1.513	1.330	1.081	1.199	1.911	2.535	2.955
1967	5.110	4.683	4.017	3.591	2.451	1.537	1.296	1.135	968	888	1.703	3.914	2.998
1968	5.559	4.447	6.497	5.085	2.308	1.640	1.430	1.307	1.238	1.298	1.760	4.455	3.081
1969	2.836	3.950	3.850	2.321	1.656	1.233	1.107	986	841	905	2.635	4.880	2.258
1970	5.963	6.435	4.713	2.573	1.898	1.428	1.273	1.098	1.059	1.560	2.982	2.702	2.786
1971	1.650	1.436	1.755	1.408	1.122	913	827	722	743	1.182	2.377	6.425	1.719
1972	4.549	2.881	3.381	2.971	1.784	1.250	1.143	1.021	882	1.418	1.971	3.789	2.286
1973	4.646	3.784	3.607	4.399	2.053	1.443	1.253	1.001	836	1.341	3.229	4.498	2.667
1974	4.504	3.042	3.225	5.182	2.870	1.718	1.397	1.233	1.046	1.116	1.808	2.410	2.408
1975	4.305	4.110	2.390	2.446	1.924	1.233	1.133	961	780	1.033	2.359	2.726	2.105
1976	2.007	1.927	2.107	1.765	1.037	1.015	796	772	985	1.442	2.187	4.824	1.740
1977	4.702	5.748	2.159	2.131	1.796	1.294	1.091	954	912	1.149	1.478	2.874	2.170
1978	5.892	5.140	6.256	4.917	2.490	2.221	1.526	1.458	1.187	1.614	2.055	4.050	3.150
1979	5.938	9.410	15.670	7.172	3.606	2.744	2.267	1.949	2.034	1.992	3.306	3.334	4.928
1980	6.356	9.911	10.491	4.684	3.385	2.358	2.220	1.875	1.669	1.808	2.380	4.858	4.304
1981	5.078	4.912	3.816	5.780	2.727	2.026	1.637	1.509	1.342	1.080	4.458	6.185	3.516
1982	6.814	7.988	7.137	6.884	3.674	2.534	2.131	1.765	1.586	1.619	1.482	1.702	3.749
1983	5.077	7.260	9.241	6.548	4.183	2.514	2.070	1.749	1.442	2.050	3.718	5.830	4.291
1984	6.326	3.001	2.685	3.469	1.772	1.326	1.158	1.059	1.270	1.314	1.691	3.890	2.414
1985	5.573	7.786	6.700	5.014	2.429	1.773	1.423	1.259	1.235	1.636	2.148	3.205	3.326
1986	6.336	7.560	4.727	2.138	1.753	1.283	1.231	1.230	1.128	1.056	1.117	1.873	2.592
1987	3.151	2.605	2.603	2.750	1.701	1.150	1.071	840	800	921	1.325	3.713	1.856
1988	5.161	3.835	4.112	2.639	1.852	1.173	1.033	979	767	989	1.566	2.620	2.230
1989	3.602	2.715	3.018	1.671	1.142	1.030	1.013	858	893	996	1.883	5.086	1.993
1990	9.482	3.673	3.101	1.974	1.358	1.060	1.130	987	968	984	1.355	1.617	2.305
1991	3.746	5.143	4.640	5.134	2.336	1.470	1.222	1.125	1.031	1.323	2.098	3.057	2.676
1992	4.859	9.247	12.914	3.748	2.612	1.784	1.444	1.283	1.385	1.880	4.273	4.809	4.140
1993	5.840	4.654	3.940	2.587	1.800	1.439	1.245	1.105	981	1.214	1.180	2.046	3.326
1994	5.268	4.688	5.902	4.512	2.151	1.470	1.378	1.081	1.022	782	989	3.062	2.615
1995	2.872	3.223	2.835	2.580	1.730	1.188	1.087	851	672	895	1.651	3.246	1.896
1996	4.482	2.176	2.233	1.593	1.184	934	785	668	699	730	1.703	3.319	1.710
1997	6.208	4.820	4.460	4.050	2.437	1.747	1.294	1.197	1.048	1.052	1.343	3.450	2.734
1998	3.342	3.360	3.094	1.535	1.122	950	838	751	620	704	1.994	3.241	1.789
1999	3.013	1.826	4.217	2.240	1.200	874	787	663	695	570	1.602	2.990	1.726
2000	4.170	5.280	4.456	3.307	1.728	1.188	930	923	918	703	1.823	3.650	2.407
2001	3.157	1.695	1.718	1.096	845	624	645	632	659	714	1.202	2.187	1.281
2002	4.501	4.932	3.987	2.369	1.249	1.032	851	739	657	782	1.134	2.032	2.019
2003	4.645	4.817	2.678	2.999	1.474	1.143	924	810	794	657	937	1.832	1.966
Mínima	1.650	1.436	1.718	1.096	845	624	645	632	629	570	880	1.106	1.281
Média	4.784	4.997	4.843	3.773	2.335	1.590	1.336	1.159	1.039	1.166	1.923	3.435	2.687
Máxima	9.482	10.080	15.670	7.965	8.794	3.939	2.591	2.078	2.034	2.050	4.456	6.425	4.928

\* Valores em m³/s.

Inclusão Cancelar

Local intranet

Figura 3.37 - Tela contendo as informações de vazões naturais e incrementais.

j) Usuários de Reservatórios:

Podem-se cadastrar os usuários de reservatório das usinas tipo reservatório e usina a fio d'água, podendo este ser considerado como um usuário individual ou pertencer a um grupo de usuários previamente cadastrado, conforme se observa na Figura 3.38.



(A)

ALTERAÇÃO DE USUÁRIO DE RESERVATÓRIO	
Usina :	Sobradinho
Código :	2
Nome :	CODEVASF ✓
Tipo :	Irrigação ✓
Grupo :	Projeto Nilo Coelho
Área :	20000.0
Município :	Casa Nova
Local :	Bahia
Latitude :	10.04 ✓
Longitude :	41.05 ✓
<input type="button" value="Alterar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

(B)

Figura 3.38 - Telas contendo as informações de usuários de reservatórios.

### 3.7.4 - Dados para Simulação

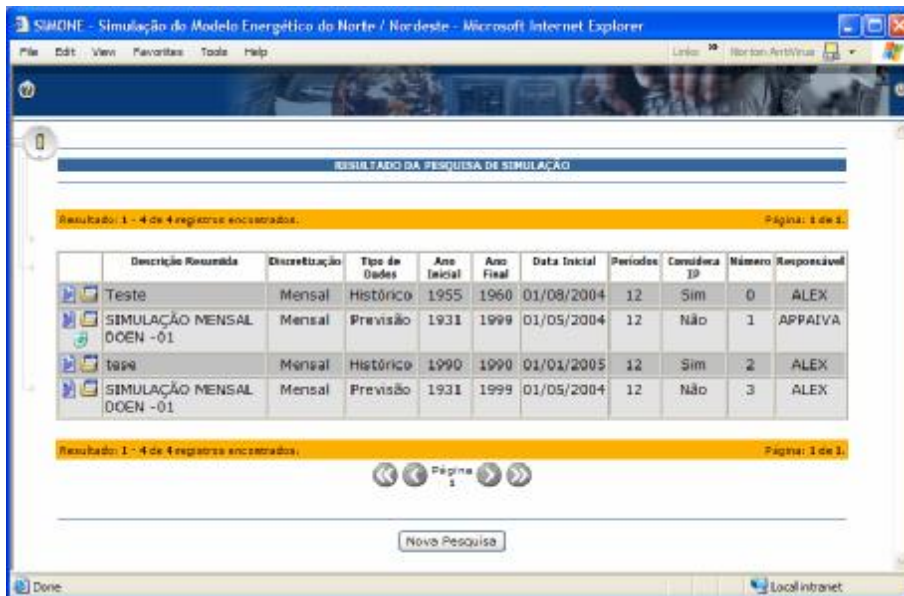
As próximas Figuras (3.39 até 3.52) mostram os tipos de dados que devem ser informados ou recuperados de simulações anteriores para elaboração de uma nova simulação.

The screenshot shows a web browser window titled "SIMONE - Simulação do Modelo Energético do Norte / Nordeste - Microsoft Internet Explorer". The page content is titled "PESQUISA DE SIMULAÇÃO" and "Informe Argumentos de Pesquisa". It features a search form with the following fields and options:

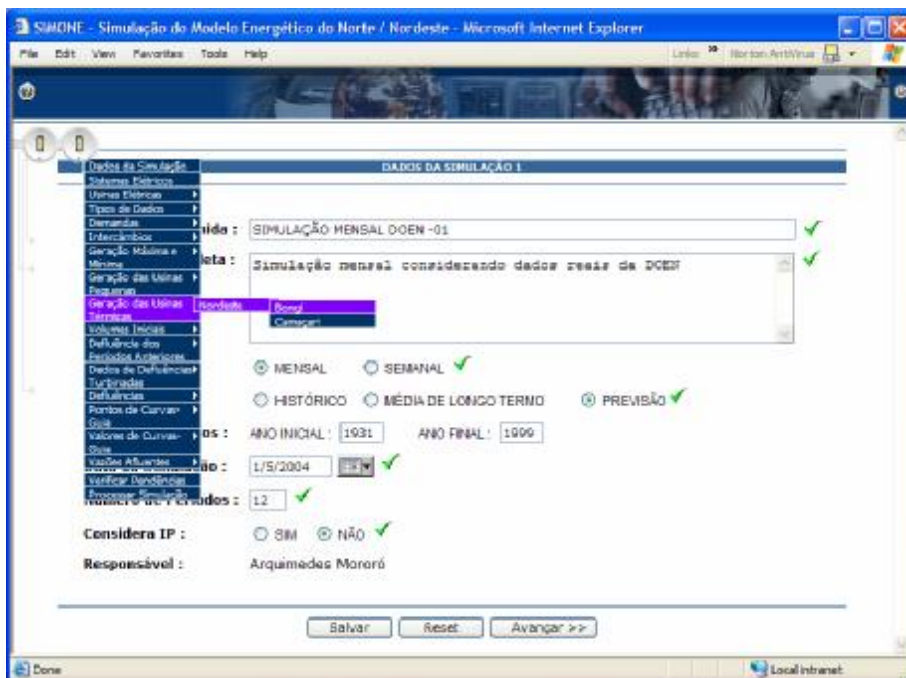
- Descrição Resumida: Qualquer parte (dropdown) [input field]
- Descrição Completa: Qualquer parte (dropdown) [input field]
- Discretização: Igual (dropdown) [radio] MENSAL [radio] SEMANAL
- Tipo de Dados: Igual (dropdown) [radio] HISTÓRICO [radio] MLT [radio] PREVISÃO
- Ano Inicial: Igual (dropdown) [input field]
- Ano Final: Igual (dropdown) [input field]
- Data da Simulação: Igual (dropdown) [input field] [calendar icon]
- Períodos: Igual (dropdown) [input field]
- Considera TP: Igual (dropdown) [radio] SIM [radio] NÃO
- Código da Simulação: Igual (dropdown) [input field]
- Responsável: Igual (dropdown) [dropdown menu]

Below the form, there are radio buttons for "Combinação dos dados selecionados: E OU" and a text input for "Número de Registros por Página: 20". At the bottom, there are "Pesquisar" and "Reset" buttons.

Figura 3.39 - Tela de pesquisa das simulações existentes.



(A)



(B)

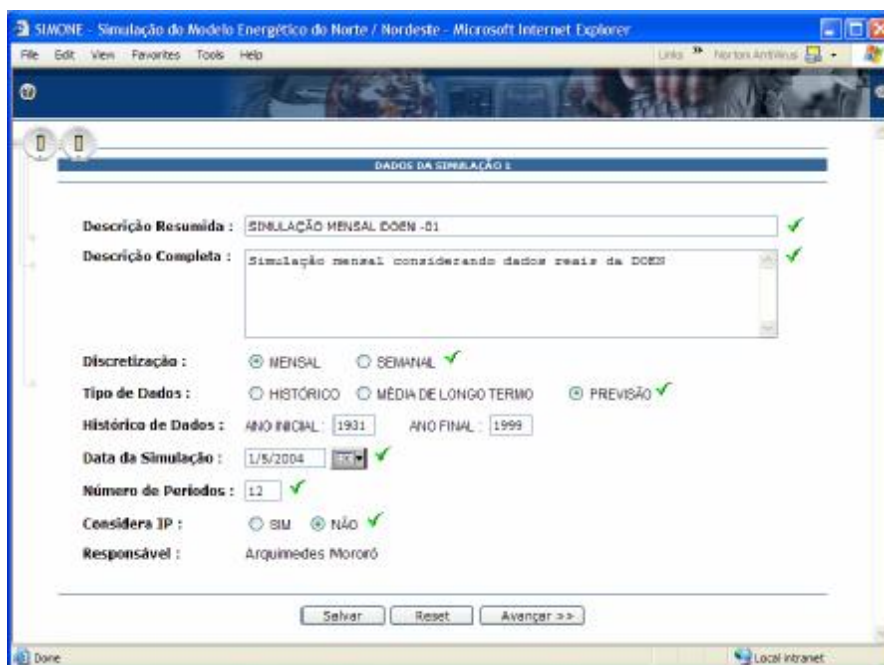
**Figura 3.40** - Tela inicial para consultar, alterar ou excluir uma simulação. Lista das simulações existentes (A) e Lista dos dados de entrada para uma simulação (B).



Os dados que devem ser informados para elaboração de uma nova simulação são os seguintes:

a) Dados Iniciais do Modelo:

I) Neste caso define-se o modo de discretização: mensal ou semanal, tipo de vazão afluente: histórico, média de longo termo ou previsão, data de início da simulação, número de períodos e considera ou não o índice de Indisponibilidade Programada (IP), conforme mostra a Figura 3.41.



The image shows a web browser window titled "SIMONE - Simulação do Modelo Energético do Norte / Nordeste - Microsoft Internet Explorer". The main content area is titled "DADOS DA SIMULAÇÃO" and contains the following fields and options:

- Descrição Resumida:**  ✓
- Descrição Completa:**  ✓
- Discretização:**  MENSAL  SEMANAL ✓
- Tipo de Dados:**  HISTÓRICO  MÉDIA DE LONGO TERMO  PREVISÃO ✓
- Histórico de Dados:** ANO INICIAL:  ANO FINAL:
- Data da Simulação:**  ✓
- Número de Períodos:**  ✓
- Considera IP:**  SIM  NÃO ✓
- Responsável:** Arquimedes Mororó

At the bottom of the form are three buttons: "Salvar", "Reset", and "Avançar >>". The browser's status bar at the bottom shows "Done" and "Local intranet".

**Figura 3.41** - Telas de entrada de dados para a realização de uma simulação.

II) Nas Figuras 3.42 definem-se os sistemas elétricos que serão considerados na simulação e na Figura 3.43 define-se o tipo de configuração que será considerada: simultânea, isolada ou excluída.

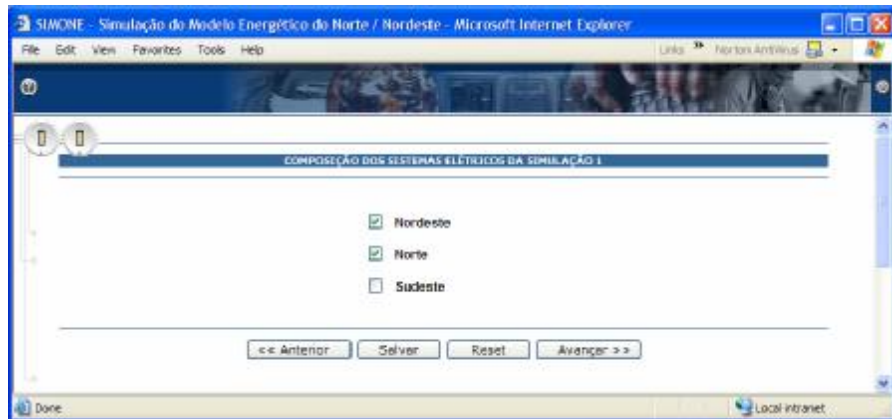


Figura 3.42 - Tela de escolha do sistema elétrico.

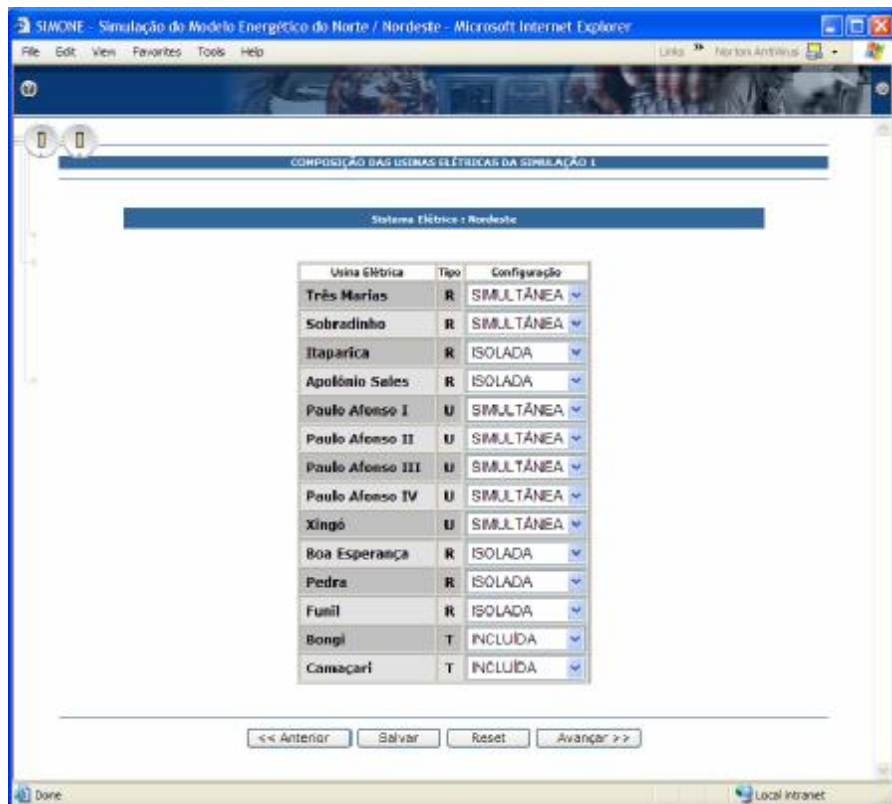
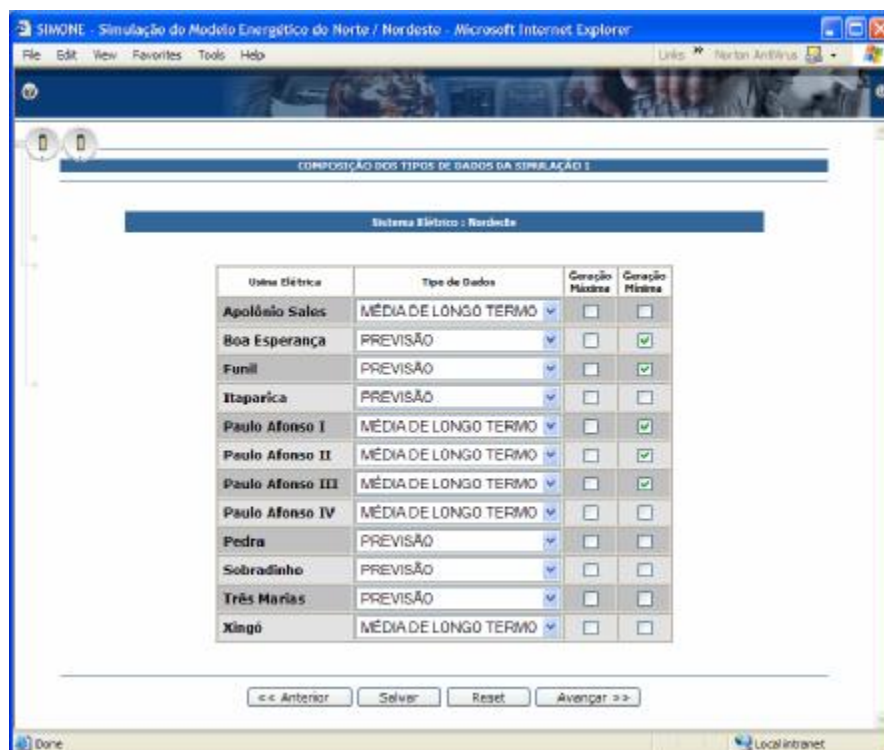


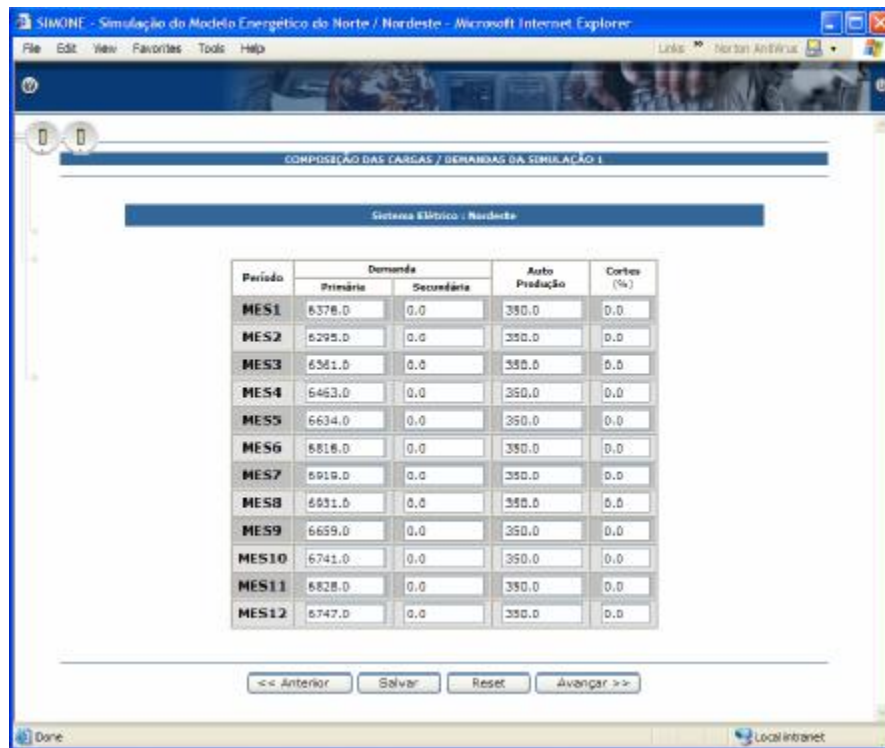
Figura 3.43 - Tela de definição do tipo de configuração das usinas.

II) Deve-se definir o tipo de vazões afluentes aos reservatórios, bem como a definição das considerações dos limites máximos e mínimos, conforme mostra a Figura 3.44.



**Figura 3.44** - Tela de definição do tipo de dados utilizados para as vazões afluentes aos reservatórios e definição de consideração dos limites máximos e mínimos.

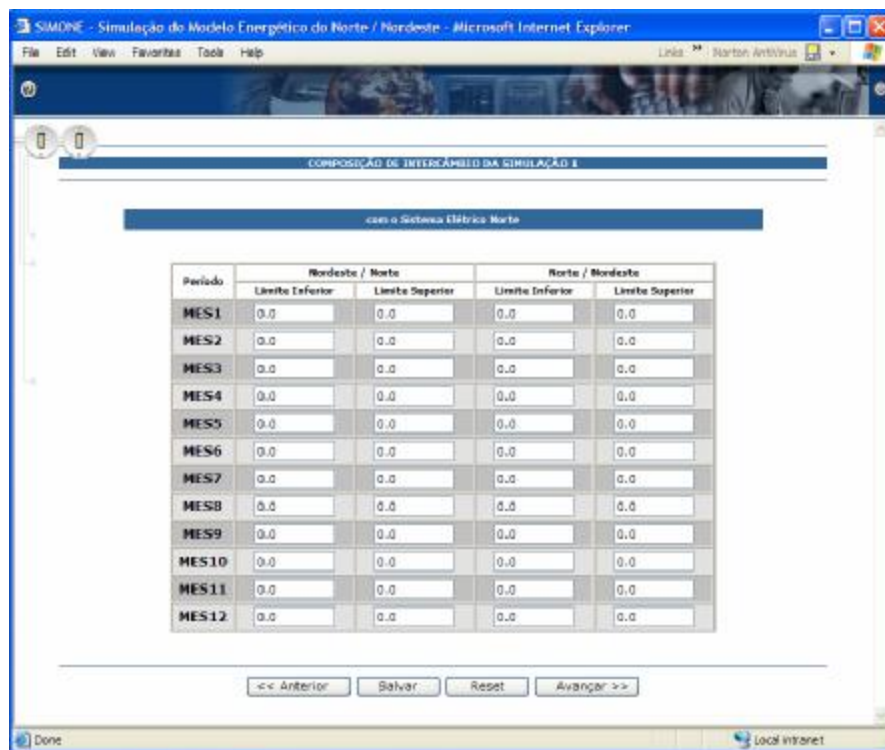
III) Define-se a carga a ser atendida nos sistemas elétricos considerados, definindo o tipo de carga ou demanda: primária, secundária ou autoprodutor (Figura 3.45).



**Figura 3.45** - Tela de entrada de dados das demandas dos sistemas elétricos.

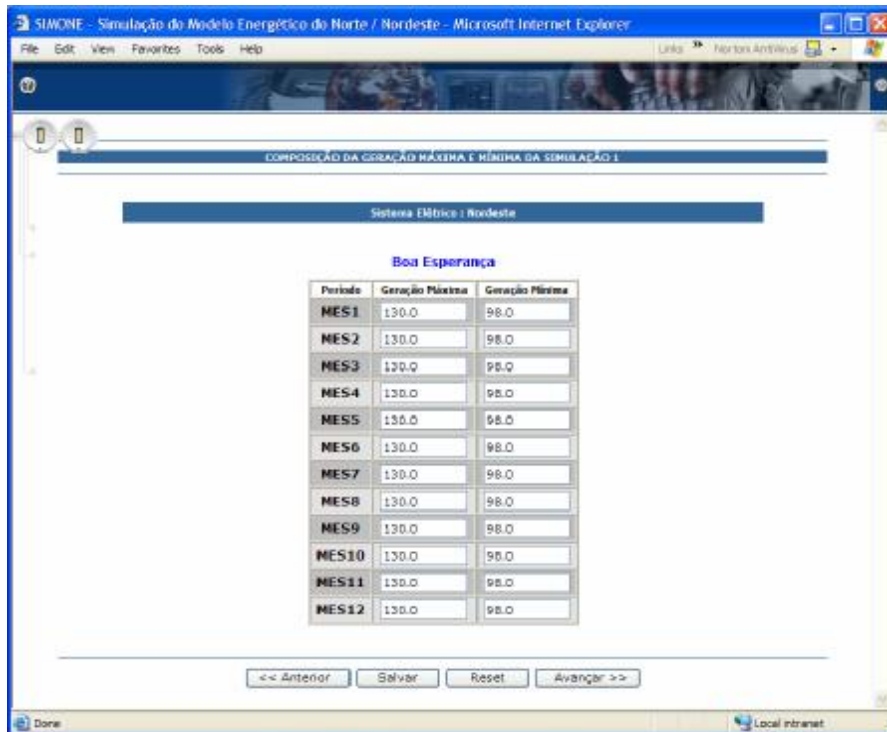
IV) Devem-se definir para os sistemas elétricos os limites de intercâmbio, procurando obedecer aos limites de transmissão de energia entre as regiões consideradas (Figura 3.46).



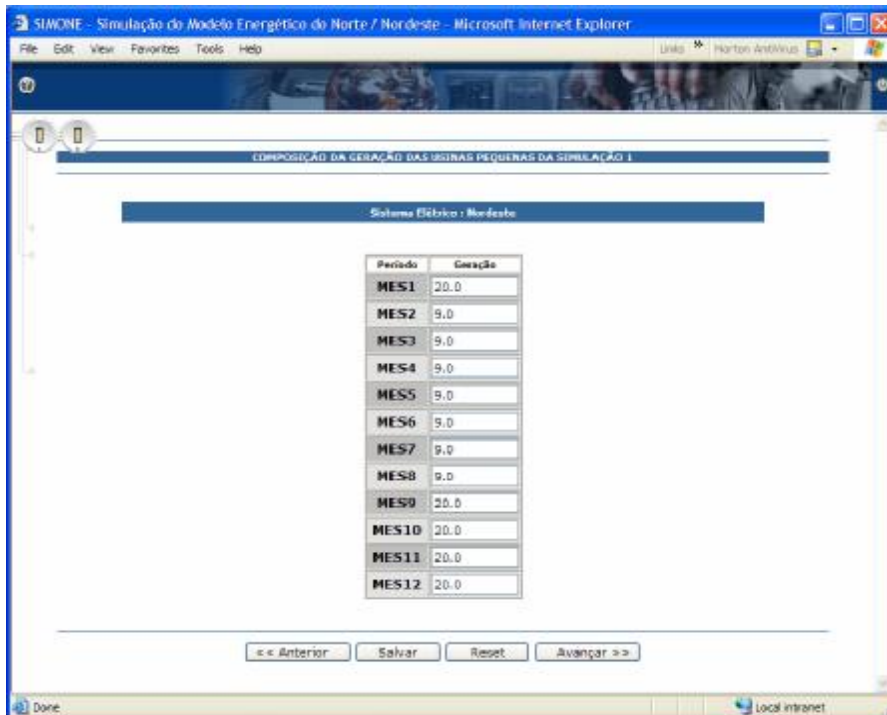


**Figura 3.46** - Tela de entrada de dados dos limites de intercâmbio.

V) Neste item definem-se os valores limites máximos e mínimos da geração das usinas pertencentes aos sistemas elétricos, conforme se observa na Figura 3.47.



(A)



(B)

Figura 3.47 - Telas de entrada de limites de geração.

VI) Na simulação devem-se definir os percentuais iniciais dos volumes úteis para os reservatórios, conforme mostra a Figura 3.48, bem como a composição das defluências para períodos anteriores (Figura 3.49).

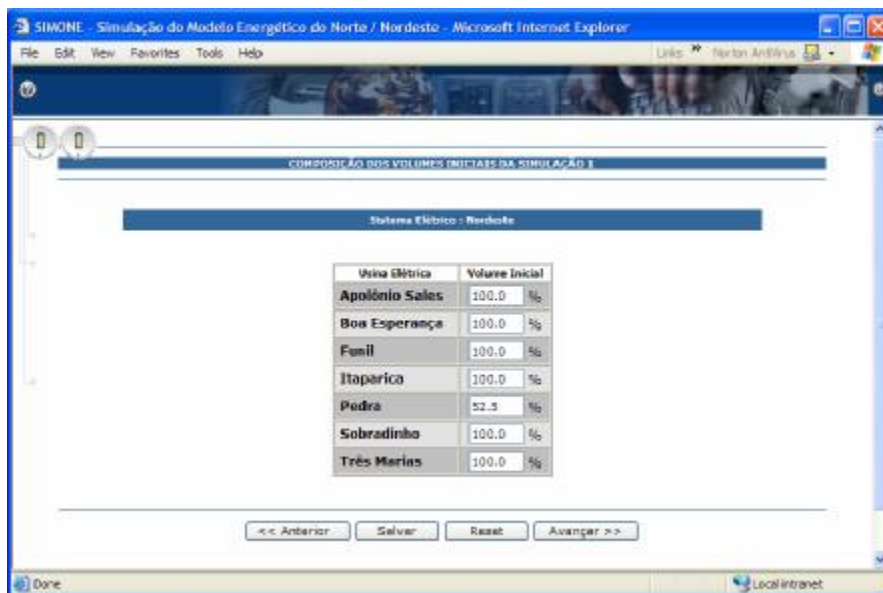


Figura 3.48 - Tela de entrada dos percentuais iniciais dos volumes úteis.

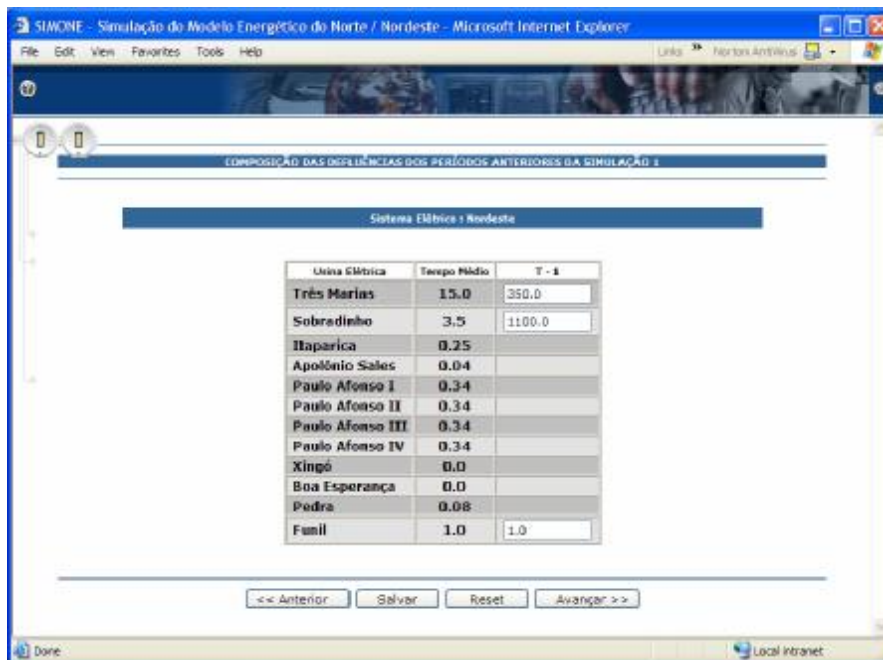


Figura 3.49 - Tela de entrada com a composição das defluências para períodos anteriores.

VII) Nesta etapa são definidos os limites de defluências, vazão turbinada máxima instantânea, limites de volumes operativos, vazão afluente como percentual da MLT, vazão evaporada, geração e modo de operação das curvas-guia, conforme se observa na Figura 3.50.

COMPOSIÇÃO DOS DADOS DE REFLUÊNCIAS TURBINADAS DA SIMULAÇÃO 1

Sistema Elétrico Nordeste

Usina Elétrica	Defluências		Trab. Máxima Instantânea	Volumes Operativos		Percentual da MLT	Vazão Evaporada	Número de Pontos das Curvas-guia
	Máxima	Mínima		Máximo	Mínimo			
Apolônio Sales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
Boa Esperança	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
Fuinil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
Itaparica	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Podra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Sobradinho	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0
Três Marias	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0

<< Anterior Salvar Reset Avançar >>

(A)

COMPOSIÇÃO DE REFLUÊNCIAS DA SIMULAÇÃO 2

Sistema Elétrico Nordeste

Sobradinho

Período	Defluência Mínima	Vazão Evaporada
MES1	1300.0	500.0
MES2	1300.0	500.0
MES3	1300.0	500.0
MES4	1300.0	500.0
MES5	1300.0	500.0
MES6	1300.0	500.0
MES7	1300.0	500.0
MES8	1300.0	500.0
MES9	1300.0	500.0
MES10	1300.0	500.0
MES11	1300.0	500.0
MES12	1300.0	500.0

<< Anterior Salvar Reset Avançar >>

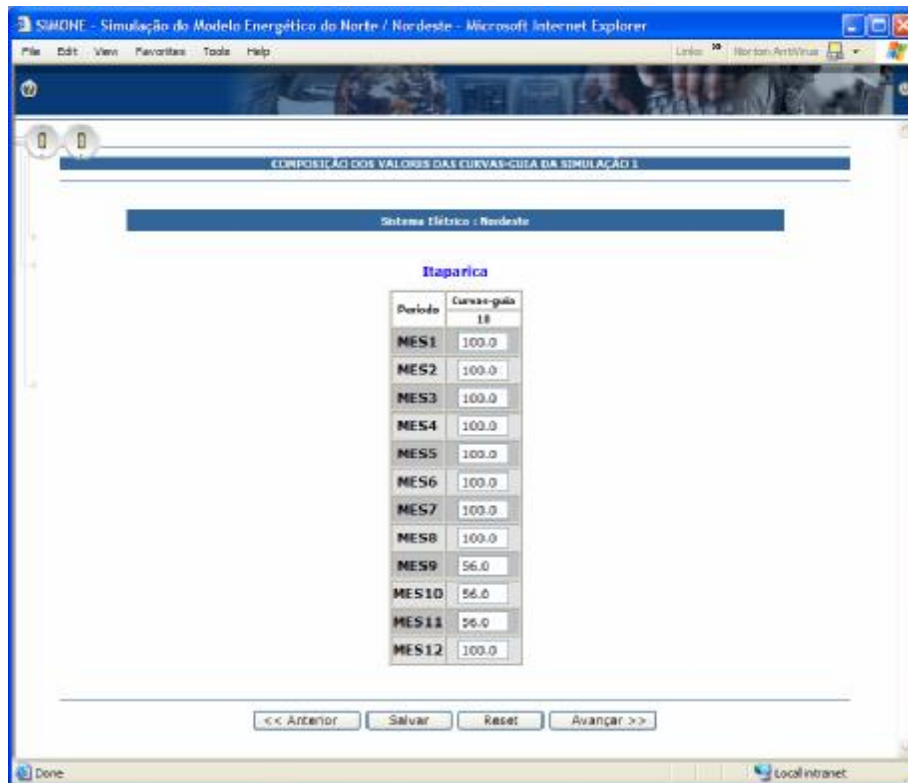
(B)

Figura 3.50 - Telas de entrada dos limites de vazões e modo de operação das curvas-guia.

VIII) Neste item define-se a composição das curvas-guia quanto ao modo variação do volume útil do reservatório na simulação simultânea (Figura 3.51).



(A)



(B)

Figura 3.51 - Telas de entrada da composição das curvas-guia.

IX) Neste caso definem-se as previsões afluentes as usinas hidroelétricas pertencentes aos sistemas elétricos considerados, conforme mostra a Figura 3.52.

PREVISÃO DAS VAZÕES AFLUENTES DA SIMULAÇÃO 1

Sistema Elétrico : Nordeste

Sobradinho

Período	Vazão	Percentual	Resultado
MES1	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES2	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES3	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES4	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES5	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES6	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES7	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES8	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES9	800,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES10	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES11	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MES12	600,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>

<< Anterior    Salvar    Reset    Avançar >>

**Figura 3.52** - Tela de entrada dos valores de vazões afluentes as usinas hidroelétricas.

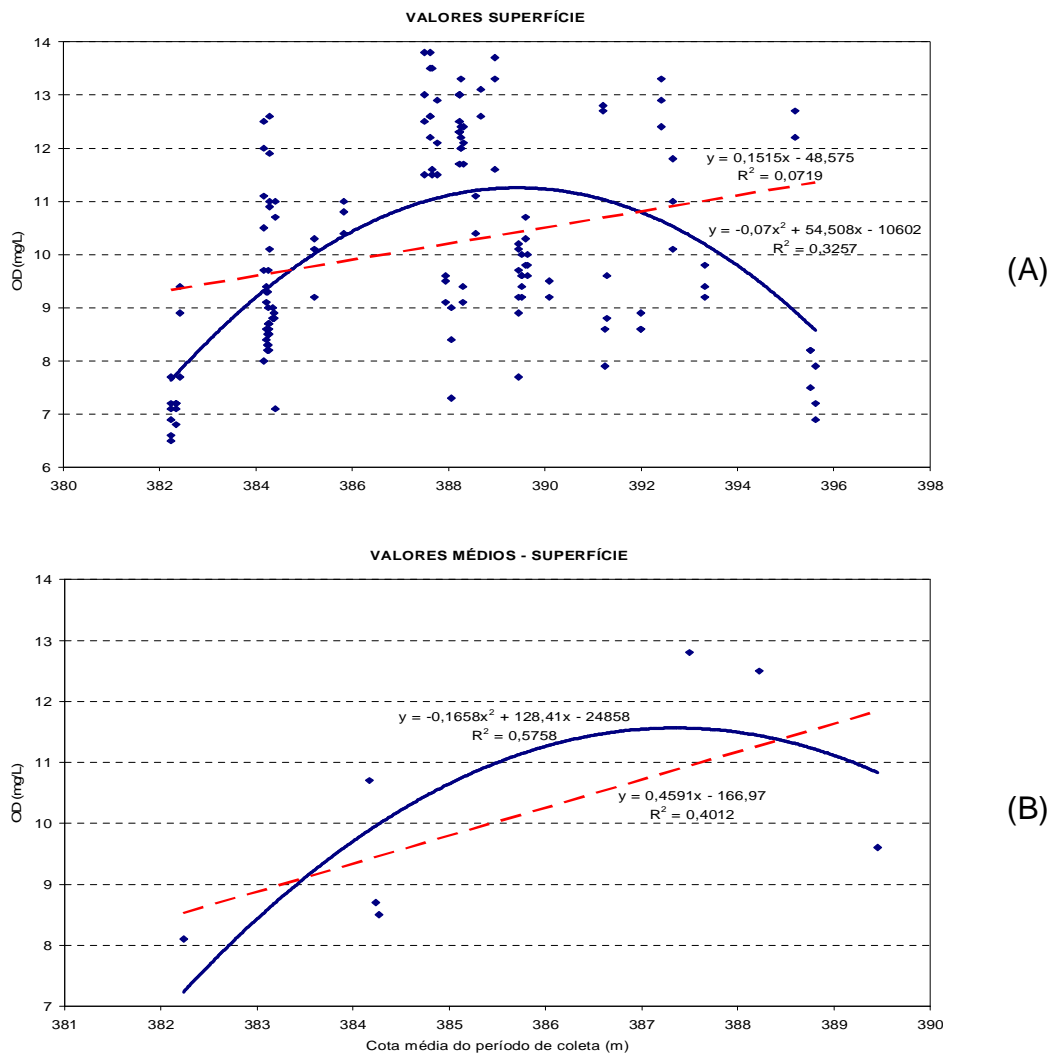
## **CAPÍTULO 4.0**

---

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

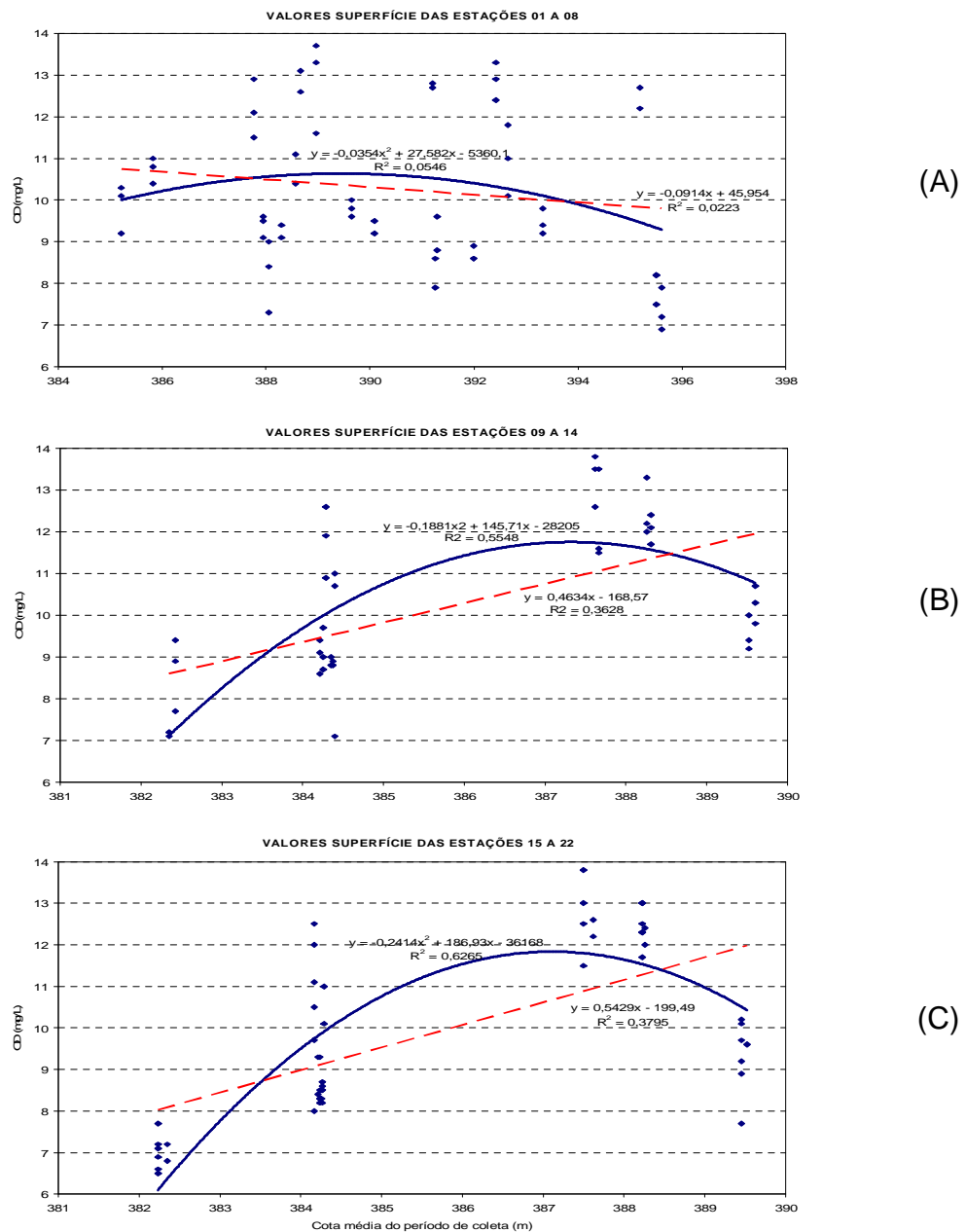
#### **4.1 - ANÁLISE DOS RESULTADOS - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA**

Efetuada a análise da relação entre os parâmetros, considera-se que é possível definir tendências diretas ou inversas entre estes, bem como variação ao longo do corpo do reservatório. No entanto, a definição de uma equação que represente a relação entre estes, seja linear ou de segundo grau, não é possível, em razão da forte dispersão entre valores, resultando em uma relação de aproximação dos pontos muito baixo, mesmo quando dividido por regiões, conforme mostram as Figuras 4.1 e 4.2.



**Figura 4.1** - Gráficos de dispersão entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e o parâmetro oxigênio dissolvido. Apresenta-se em (A) todos os valores coletados na superfície deste reservatório e em (B) a média destes valores, como também as equações que relacionam estas grandezas com os respectivos coeficientes de aproximação.





**Figura 4.2** - Gráficos de dispersão entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e o parâmetro oxigênio dissolvido divididos por trechos: lótico (A), transição (B) e lântico (C). Apresentam-se todos os valores coletados na superfície deste reservatório entre as estações de coletas de 01 a 08 (A), de 09 a 14 (B) e de 15 a 22 (C), como também as equações que relacionam estas grandezas com os respectivos coeficientes de aproximação.

Como resultado da análise individual de cada parâmetro de qualidade e as grandezas físicas do reservatório, descrevem-se as seguintes proposições:

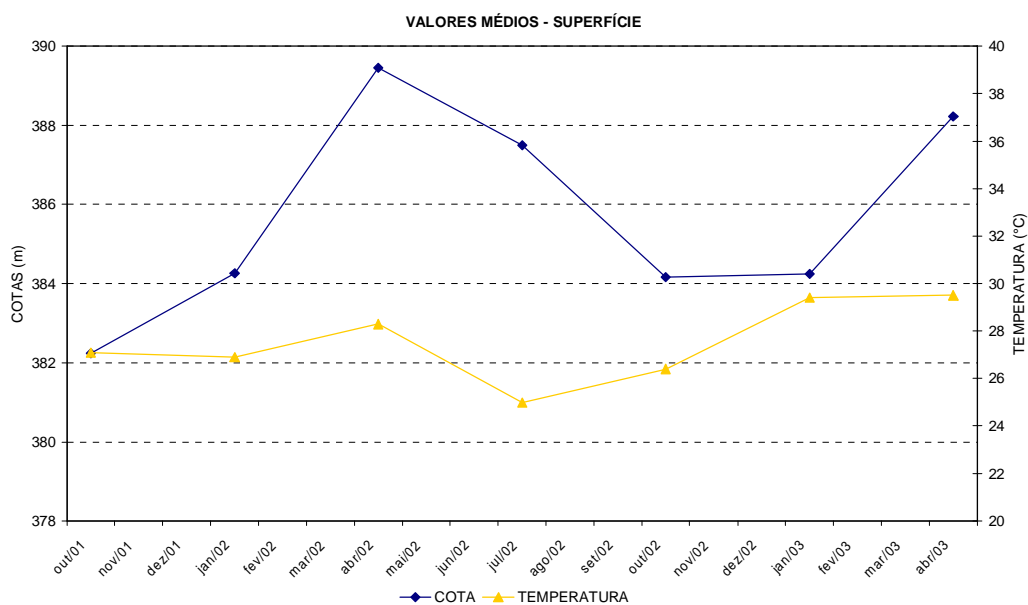
#### **4.1.1 - Temperatura**

a) A elevação da temperatura aumenta o crescimento de fitoplâncton (algas) e a solubilidade de vários compostos químicos e diminui a solubilidade do oxigênio na água (BORGES, 2003).

b) A temperatura, tanto do ar como da água, é parâmetro significativo para o ecossistema, levando-se em consideração que as reações químicas e bioquímicas, a solubilidade de gases dissolvidos e processos biológicos, principalmente, são diretamente influenciados pela temperatura (GUIMARÃES, 1998).

c) A precipitação está diretamente relacionada com elevação de cota e afluição, no entanto, não necessariamente com as temperaturas mais baixas, deste modo não é possível verificar uma relação direta ou inversa. Quanto mais raso estiver o reservatório maior a distribuição do calor, ou seja, uma massa d'água menor com conseqüente nível de alcance da radiação maior, desta forma existe uma maior distribuição do calor ao longo da massa d'água. A elevação de cota deve provocar maior diferença entre as profundidades, o que pode provocar diferenças mais perceptíveis entre as profundidades, levando a uma estratificação. A temperatura da água tem uma estreita relação com a temperatura do ar, pois a fonte de calor é atmosférica. A temperatura do ar tende a variar conforme a época do ano, sendo que na região do semi-árido não há grandes variações de temperatura.

A Figura 4.3 mostra, o comportamento da temperatura correlacionando com a cota do reservatório de Sobradinho.



**Figura 4.3** - Gráfico de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro temperatura.

#### 4.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)

a) As medidas de oxigênio dissolvido são vitais para a manutenção de condições oxidantes (aeróbias) para degradar a matéria orgânica. É o principal parâmetro para avaliar o impacto ambiental de efluentes orgânicos lançados nas águas receptoras. O OD é importante para a vida aquática e deve estar associado à medida de temperatura da água, para com ela ser encontrada a concentração de saturação de oxigênio dissolvido (ARAÚJO, 2000).

b) O teor de oxigênio dissolvido é um indicador de suas condições de poluição por matéria orgânica, portanto, teores baixos de oxigênio dissolvido podem indicar que

houve uma intensa atividade bacteriana, decompondo matéria orgânica lançada na água. (MOTA, 1995).

c) O teor de oxigênio na água varia na função inversa da temperatura, altitude, salinidade e tem função direta com a pressão atmosférica. A sua principal fonte provém da fotossíntese realizada pelas algas e pelos vegetais superiores. Essa produção interna (fonte endógena) oscila com a profundidade, intensidade luminosa, estação do ano, nebulosidade, latitude etc., estes fatores reduzem a intensidade da radiação local líquida incidente no lago (SETOR PESQUEIRO, 2003).

d) A capacidade de solubilidade e permanência do oxigênio na água é inversamente proporcional à sua capacidade de difusão para o ar e esta está relacionada de forma inversa com a temperatura e concentração de sais. Quanto maior a temperatura da água, com igual ou maior salinidade, menor será a taxa de solubilidade do gás oxigênio na água, portanto maior será a sua capacidade de difusão para o ar (SETOR PESQUEIRO, 2003).

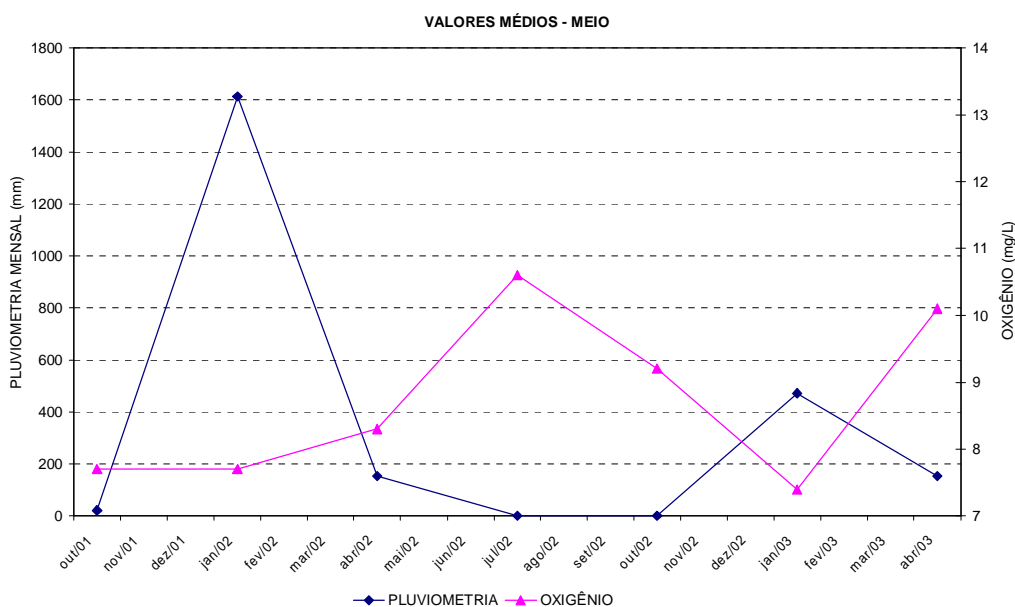
e) As camadas superiores apresentam mais facilidade de captura do oxigênio em razão das turbulências motivadas pela ação do vento ou mesmo precipitação. Estas podem também se apresentar mais enriquecidas em função do oxigênio produzido pelos vegetais, através do processo da fotossíntese. Pelo critério da temperatura, o valor do oxigênio dissolvido deveria aumentar com a profundidade. Contudo, este processo raras vezes é verificado, uma vez que grandes quantidades de oxigênio são consumidas nas camadas mais profundas pela oxidação de substâncias orgânicas que se sedimentam e pela respiração animal, de bactérias ou microorganismos (GUIMARÃES, 1998).

f) Para o oxigênio dissolvido o período de valores reduzidos corresponde aos meses de outubro e janeiro, quando se verifica nível baixo de cotas dos reservatórios, sendo, portanto grandezas diretamente proporcionais;

g) Os valores de oxigênio dissolvido variam na razão direta com a pluviometria e a afluência aos reservatórios, porém com uma defasagem de tempo associada à

movimentação dos sedimentos e o aporte de matéria orgânica que reduz a penetração de luz, reduzindo por sua vez, a geração de oxigênio dissolvido.

h) Quanto menor a temperatura, maior a solubilidade. Então, a temperatura e o oxigênio dissolvido têm razão inversa, portanto numa água mais quente existe menos oxigênio e isto pode ser agravado se existirem outros elementos consumidores de oxigênio, ou seja, relacionada com a poluição e processos oxidantes. A principal fonte é a fotossíntese e a difusão com a atmosfera. No período de precipitação existe escoamento superficial, com conseqüente lavagem de todo o solo exposto, sendo nesta lavagem considerados os usos desta área, tais como: criação de animais, área agrícola, etc. Esta forte carga orgânica aportada durante a precipitação irá consumir o oxigênio, principalmente no início do período chuvoso. A razão da defasagem para a pluviometria é que a elevação de cota e afluência ocorre depois de algum tempo, ou seja, não há resposta imediata entre as grandezas. Devem-se levar em consideração que os valores de precipitação são aqueles ocorridos na área do reservatório da usina de Sobradinho, no entanto, existe uma influência maior em razão das precipitações ocorridas a montante desta usina, conforme se observa na Figura 4.4.



**Figura 4.4** - Gráfico de correlação entre as grandezas: pluviosidade total ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro oxigênio dissolvido.

#### 4.1.3 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

a) O pH fornece indícios sobre a qualidade hídrica, o tipo de solo que a água percorreu e o tipo de poluição química da água, ou seja, ácida ou alcalina (BORGES, 2003).

b) Valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática e os microorganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (VON SPERLING, 1998).

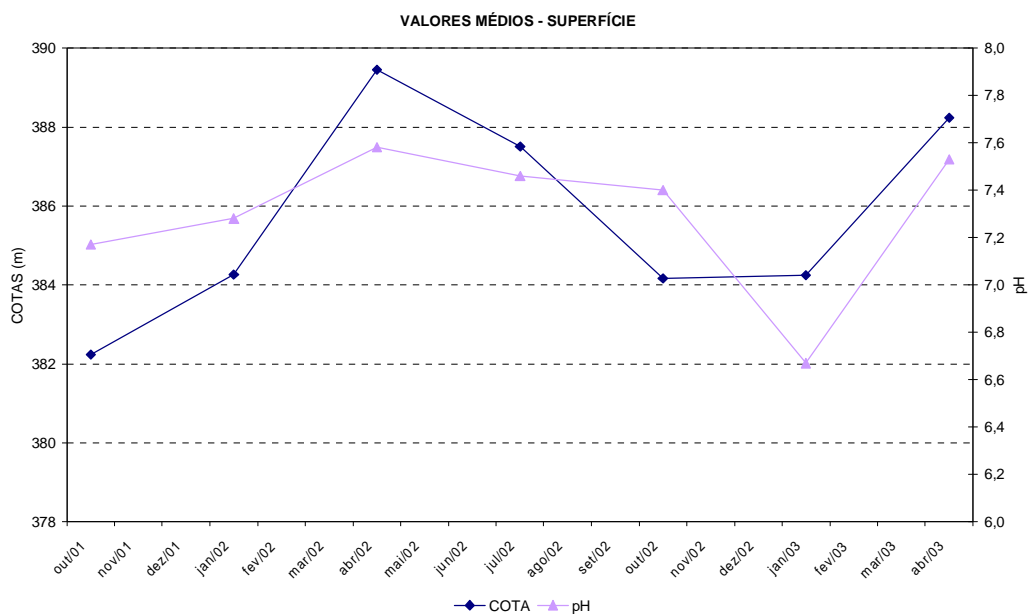
c) As macrófitas aquáticas e as algas tendem a elevar o pH do meio, onde, através do processo fotossintético, ocorre a assimilação do CO<sub>2</sub>. Atividades dessa natureza são mais comuns e mais eficientes em um meio aquático, junto à superfície da água. Paralelamente, nas camadas mais profundas ocorre a

liberação do CO<sub>2</sub>, em função da decomposição da matéria orgânica, com tendência de acidificar o meio (GUIMARÃES, 1998).

d) Verifica-se uma correlação do deplecionamento do reservatório com a variação de pH na razão direta. Observa-se uma relação inversa com a pluviometria e a vazão afluyente.

e) A redução do nível aumenta a turbidez pela proximidade com o fundo, provocando a suspensão de materiais, diminuindo a penetração da luz e reduzindo a fotossíntese, acarretando mais CO<sub>2</sub> disponível, portanto mais ácida a água (menor pH), a movimentação de materiais de fundo promove o consumo de oxigênio pelas bactérias o que reduz o pH. A pluviometria e a vazão reduzem o pH pelo carreamento de materiais e suspensão de materiais de fundo.

A Figura 4.5 mostra, a variação do pH em função do nível do reservatório de Sobradinho ao longo do período de coleta.



**Figura 4.5** - Gráfico de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro pH.

#### 4.1.4 - Nitrogênio Dissolvido (Amônia / Nitrito / Nitrato)

a) O nitrogênio total sugere a presença global de nutrientes em água e o nível de eutrofização da mesma. Na água, as principais fontes de nitrogênio são a matéria orgânica e a fixação de nitrogênio molecular no próprio sistema, podendo ser encontrado nas formas de nitrato, nitrito e amônia, entre outras; sua presença permite a proliferação de organismos, aumentando o consumo de oxigênio (BORGES, 2003).

b) Existe uma tendência de se verificar maiores concentrações de nitrogênio na zona de fundo (hipolímnio) em relação à zona do meio (metalímnio). Este comportamento é verificado em lagos, onde o nitrogênio amoniacal, sob condições favoráveis, sofre o processo da nitrificação pela oxidação, resultando no aumento da concentração do nitrato nas camadas inferiores (GUIMARÃES, 1998).

c) Baixas concentrações de nitritos em sistemas aquáticos são normalmente, verificadas em ambientes oxigenados e também em condições de baixa poluição orgânica (GUIMARÃES, 1998).

d) As altas concentrações de nitrogênio amoniacal podem estar relacionadas às descargas de efluentes, constituindo-se, portanto, num indicador de despejos orgânicos recentes. As implicações ecológicas resultantes das altas concentrações de nitrogênio amoniacal estão ligadas ao aumento de consumo de oxigênio dissolvido no meio (GUIMARÃES, 1998).

e) As três formas amônia, nitrito e nitrato todas elas estão relacionadas com contribuição orgânica (aporte de material orgânico) ou inorgânica (rochas e solos). Quanto mais oxigênio, maior a facilidade de transformação de amônia em nitrito e em nitrato. A amônia será aproveitada pelas algas quando houver transparência adequada para que ocorra a assimilação. Quando os níveis estão mais baixos, há maior turbidez, dificultando esta assimilação com conseqüente aumento dos níveis de nitrogênio, somado ao fato da ocorrência de aporte de materiais. Especialmente, existe uma grande variabilidade por haver contribuições pontuais. A dinâmica destas variáveis é muito rápida entre as mudanças das diferentes



formas, com conseqüente dificuldade de se obter uma relação direta ou inversa entre cota, pluviometria e vazão. Há uma tendência de diminuição no trecho lântico pelo efeito de diluição que não pode ser desprezado, como mostra a Figura 4.6.



**Figura 4.6** - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro nitrogênio dissolvido (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B).

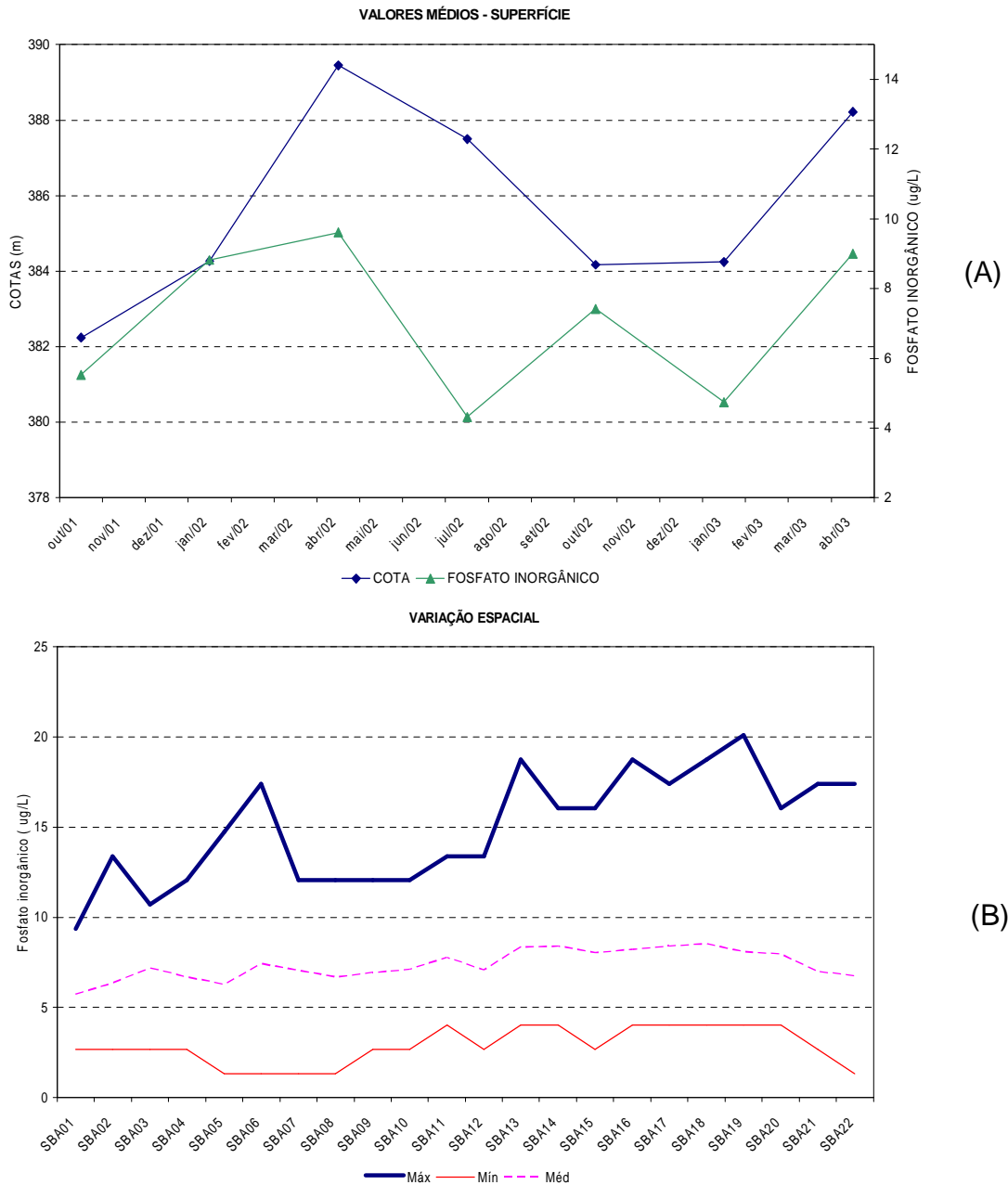
#### 4.1.5 - Fosfato Inorgânico

a) O fósforo total é indicador do grau de eutrofização de um ecossistema aquático. Nas águas naturais, o fósforo é encontrado como fosfato, estando normalmente em concentração baixa nas águas superficiais. Este elemento é essencial à planta, podendo estar dissolvido ou particulado na água, variando suas concentrações entre formas associadas orgânicas e inorgânicas oxidadas (BORGES, 2003).

b) O teor de nutrientes inorgânicos dissolvidos na água é de grande importância, principalmente para o desenvolvimento do fitoplâncton (algas), porém quando em grande quantidade pode provocar a eutrofização do corpo d'água (proliferação de algas) prejudicando o ambiente (entrada de luz) e causando odor e mau gosto na água, devido às toxinas liberadas pelas algas que morrem. A presença de nitrogênio amoniacal (amônia) e fosfato na água indicam que este ambiente recebe grande carga de esgoto doméstico, já que a amônia é encontrada na urina dos seres humanos e nas fezes de outros animais, como as aves (GEMA, 2003).

c) Todas as formas de fósforo presentes em águas naturais, iônica ou complexada, encontram-se sob a forma de fosfato. Embora todas sejam importantes sob o ponto de vista ecológico, o ortofosfato assume maior relevância pelo fato de ser a principal configuração assimilável pelos vegetais aquáticos. O íon fosfato é facilmente imobilizado (precipitado) em ambiente aquático, onde vários fatores interferem no processo, destacando-se entre eles o conteúdo de ferro, alumínio, carbonatos, pH e oxigenação do meio (GUIMARÃES, 1998).

d) O ortofosfato ou fosfato Inorgânico está relacionado com a presença de algas através de nutrientes dissolvidos. Observa-se um crescimento no teor de fosfato Inorgânico no trecho lântico (reservatório) por ocorrer um acúmulo gradual do fósforo, como mostra a Figura 4.7. Não há relação com cota, pluviometria e vazão por está relacionado com lançamento de matéria orgânica.

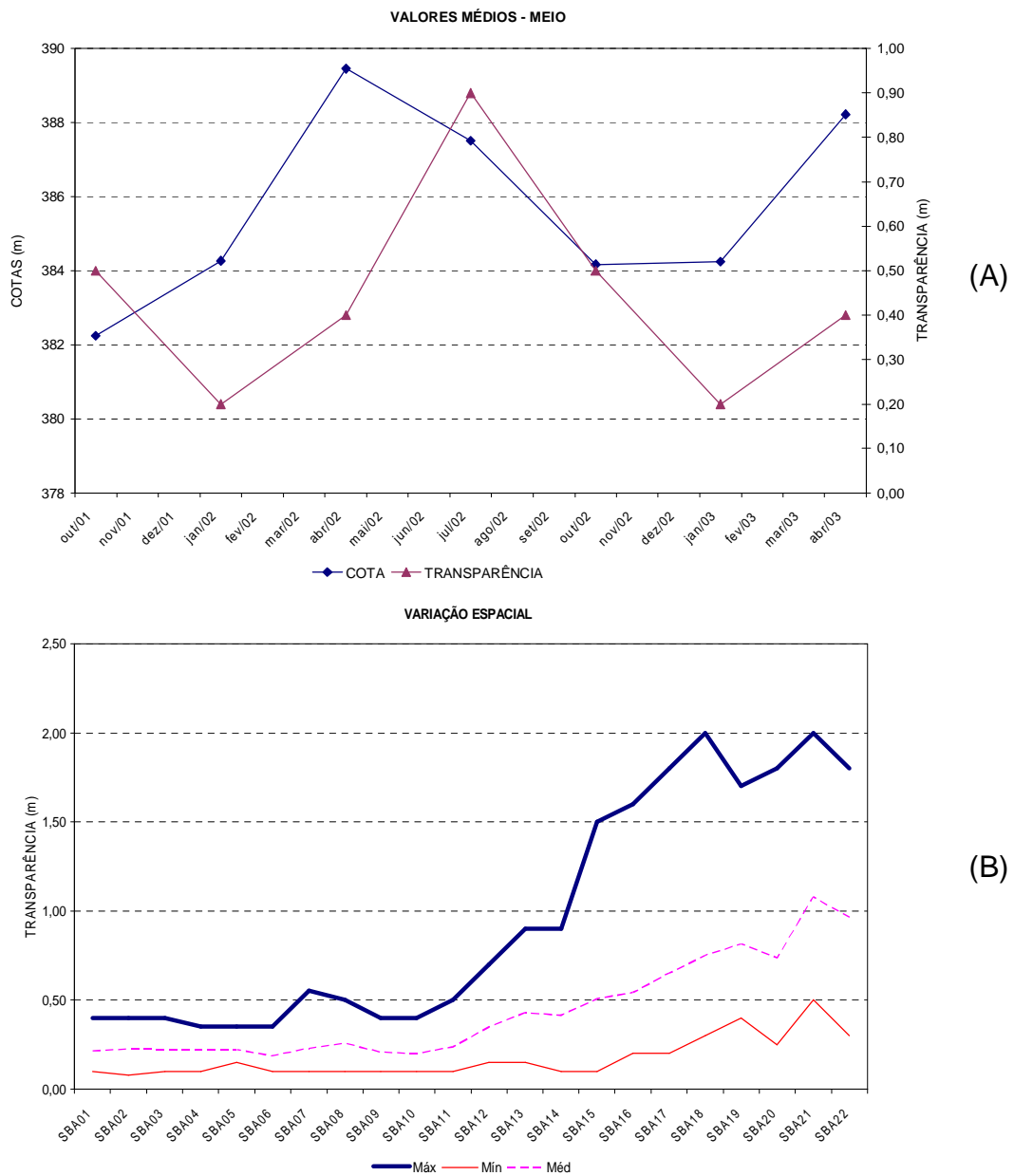


**Figura 4.7** - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro fosfato inorgânico (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B).

#### 4.1.6 - Transparência

a) A penetração da luz depende da cor, levando-se em consideração que o aumento na concentração de compostos orgânicos dissolvidos, sobretudo aqueles advindos da formação de ácidos fúlvicos e húmicos, têm consequência direta sobre o aumento de absorção de energia luminosa, enquanto que a turbidez tem efeito maior sobre a dispersão de partículas em suspensão (GUIMARÃES, 1998).

b) A transparência está relacionada ao deplecionamento, a pluviometria e a vazão afluente ao reservatório com uma defasagem de tempo em razão da sedimentação do material carregado das margens do rio. Observa-se um crescimento nos valores da transparência no trecho lântico (reservatório) por favorecer a sedimentação dos sólidos (Figura 4.8). A defasagem entre cota e transparência pode ser explicada pelo processo de precipitação pelo carregamento de materiais e tempo de deposição.



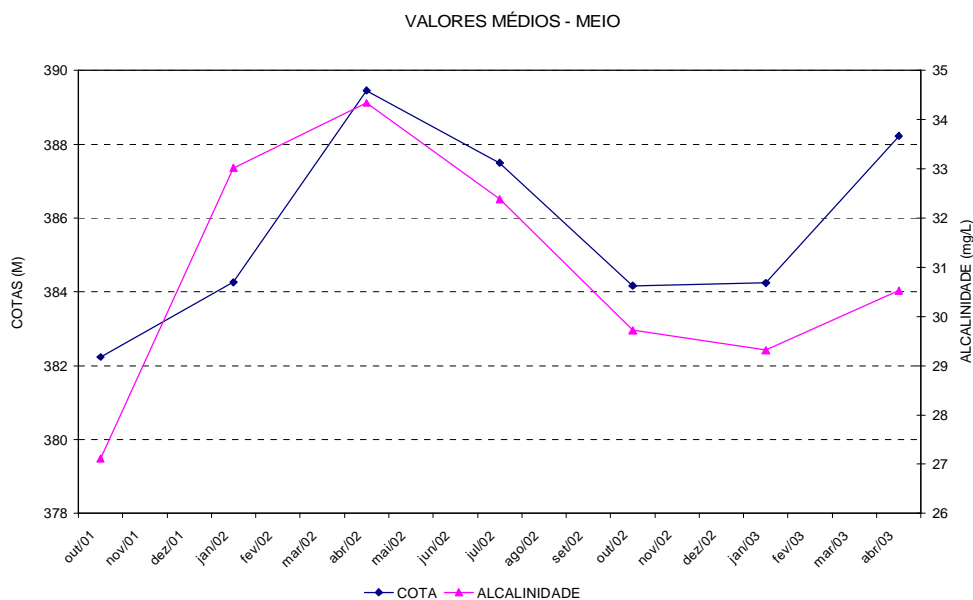
**Figura 4.8** - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro transparência (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B).

#### 4.1.7 - Alcalinidade

a) A alcalinidade indica uma quantidade elevada de bicarbonatos de cálcio e magnésio, carbonatos ou hidróxidos de sódio, potássio, cálcio e magnésio. Além de contribuir para a salinidade da água, a alcalinidade influi nos processos de tratamento da mesma (MOTA, 1995).

b) O teor alcalino de uma água é definido pela presença de bicarbonatos de cálcio, magnésio e sódio, além de carbonatos. Contudo, a presença de carbonatos em águas naturais não é comum, enquanto os bicarbonatos, mais freqüentes, são decorrentes de sua passagem por zonas que apresentam rochas calcáreas (GUIMARÃES, 1998).

c) A variação da alcalinidade está relacionada diretamente com o nível do reservatório em razão da ocorrência de aporte de materiais predominantemente calcáreo, bem como em relação à pluviometria e vazões afluentes este parâmetro apresenta relação direta, no entanto, com defasagem de tempo, relacionada ao tempo de resposta entre a ocorrência de chuva e a elevação da cota e afluência (Figura 4.9).



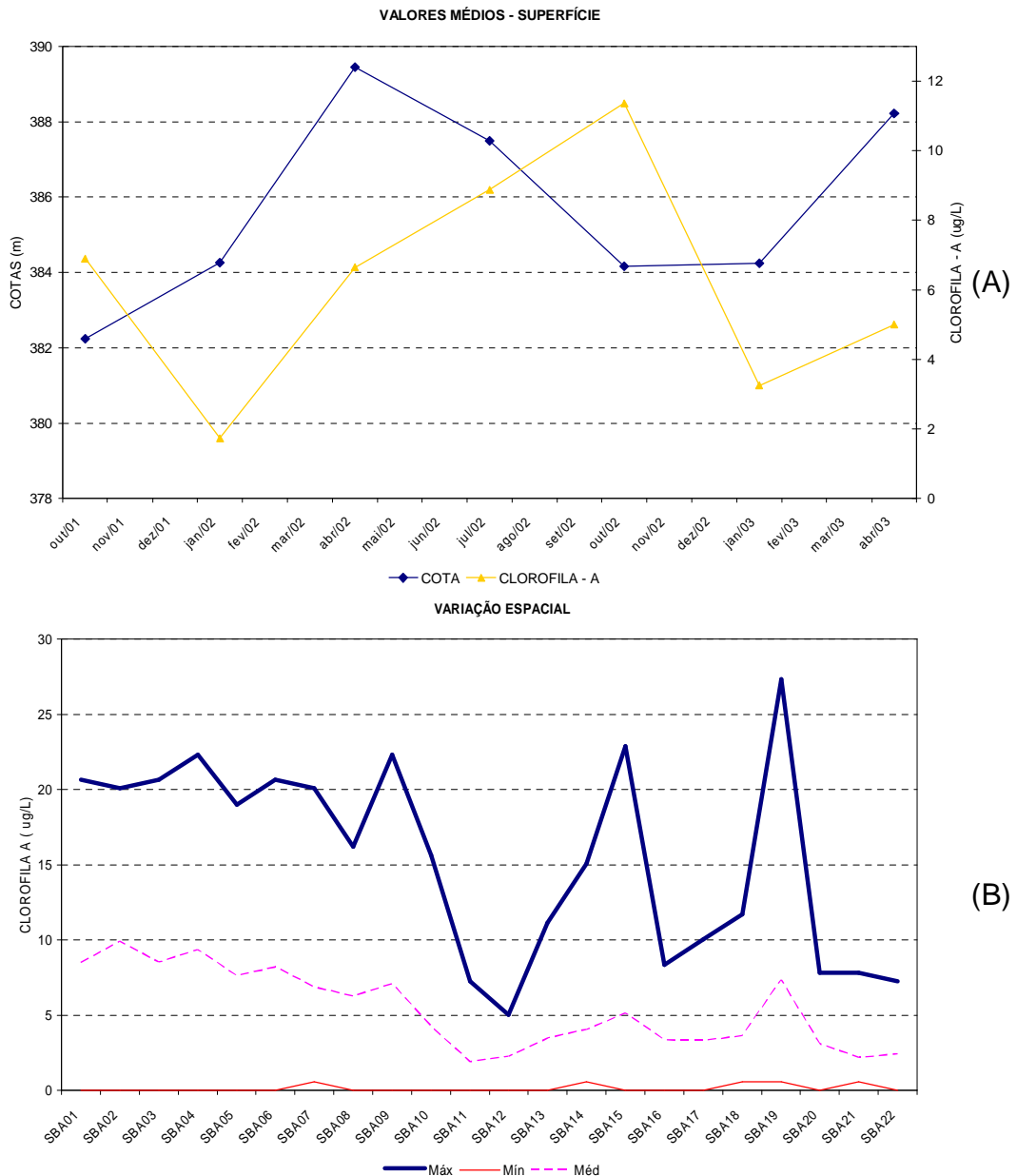
**Figura 4.9** - Gráfico de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro alcalinidade.

#### 4.1.8 - Clorofila

a) Sendo a clorofila o principal pigmento responsável pela fotossíntese, o conhecimento de sua concentração pode dar indicações da biomassa do fitoplâncton (algas). Este influencia também na penetração de luz, na produção de nutrientes, na transparência da água e conseqüentemente na quantidade de oxigênio dissolvido (GUIMARÃES, 1998).

b) Não é possível relacionar a clorofila com cota, pluviometria e vazão por esta grandeza estar relacionado com a presença de nutrientes, especialmente o fósforo, no qual sua produção está condicionada à presença de matéria orgânica, ou seja, lançamento de efluentes. Observa-se na variação espacial elevações pontuais deste parâmetro, como mostra a Figura 4.10.





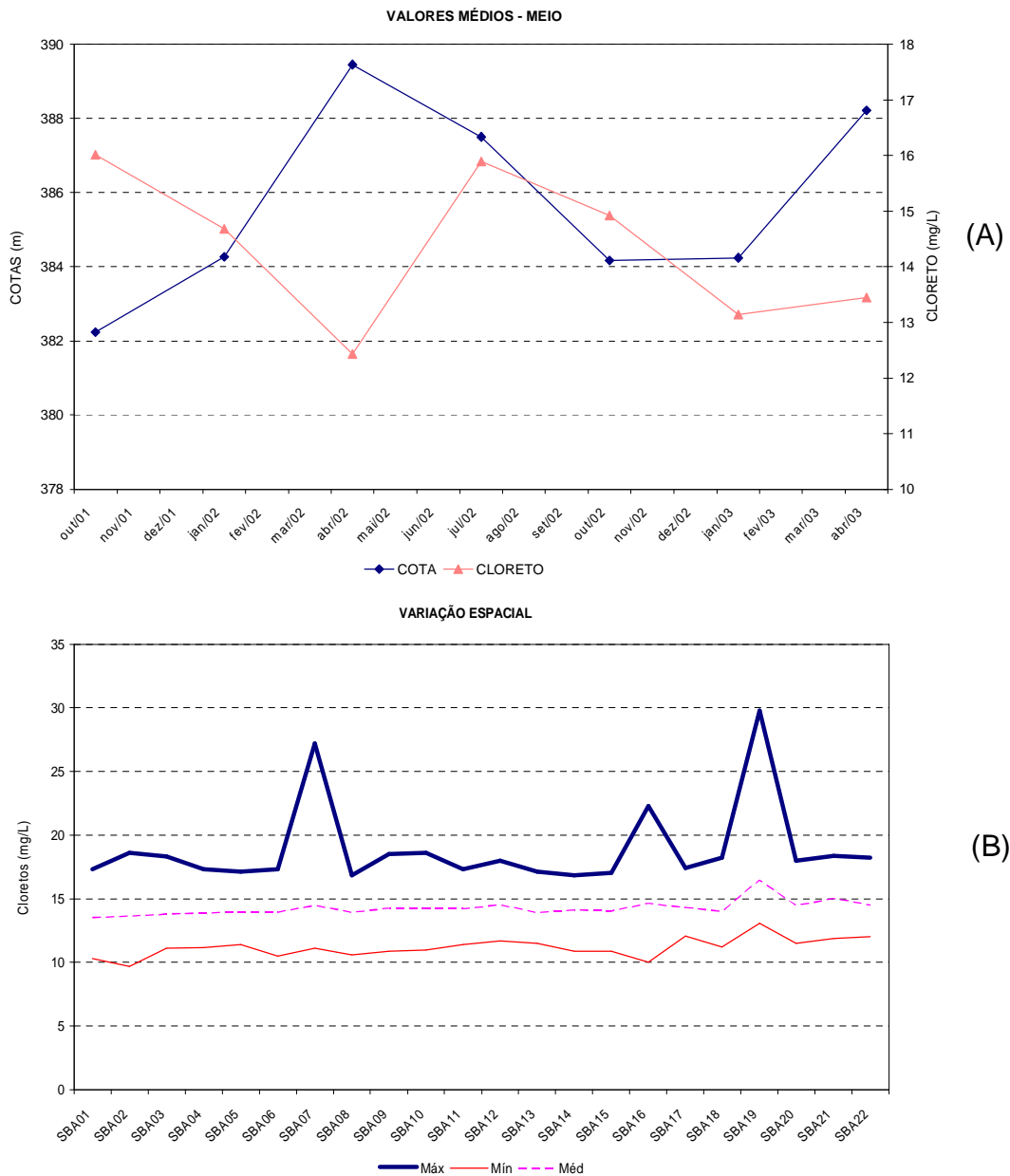
**Figura 4.10** - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro clorofila - A (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B).

#### 4.1.9 - Cloreto

a) A salinidade é resultante do excesso de sais dissolvidos na água, como os bicarbonatos, cloretos e sulfatos, tornando seu sabor salino e conferindo-lhe propriedade laxativa (MOTA, 1995).

b) Os cloretos são compostos que podem estar presentes na água, naturalmente ou como consequência da poluição, devida à intrusão da água do mar, de esgotos sanitários ou industriais. Em teores elevados causam sabor acentuado, podendo ainda provocar reações fisiológicas ou aumentar a corrosividade da água. Os cloretos são usados, também, como indicadores de poluição por esgotos sanitários (MOTA, 1995).

c) A razão de sua elevação é a salinização nas áreas agrícolas, onde há maior uso de água para irrigação, acarretando maior aporte de sais da superfície com consequentes ocorrências de elevações pontuais na observação espacial. O seu valor é também modificado pelas características do solo. O déficit hídrico favorece a salinização por carrear os íons. Quando há aumento de cota o cloreto diminui pelo efeito da diluição (Figura 4.11). No período de chuva, há uma diminuição da salinidade (cloreto), acarretando sua redução sendo, portanto, grandezas com tendências inversas.



**Figura 4.11** - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro cloreto (A) e variação espacial deste parâmetro entre as estações SBA01 e SBA22, apresentando as variações das amplitudes máximas e mínimas, como também valores médios nas três profundidades: superfície, meio e fundo (B).

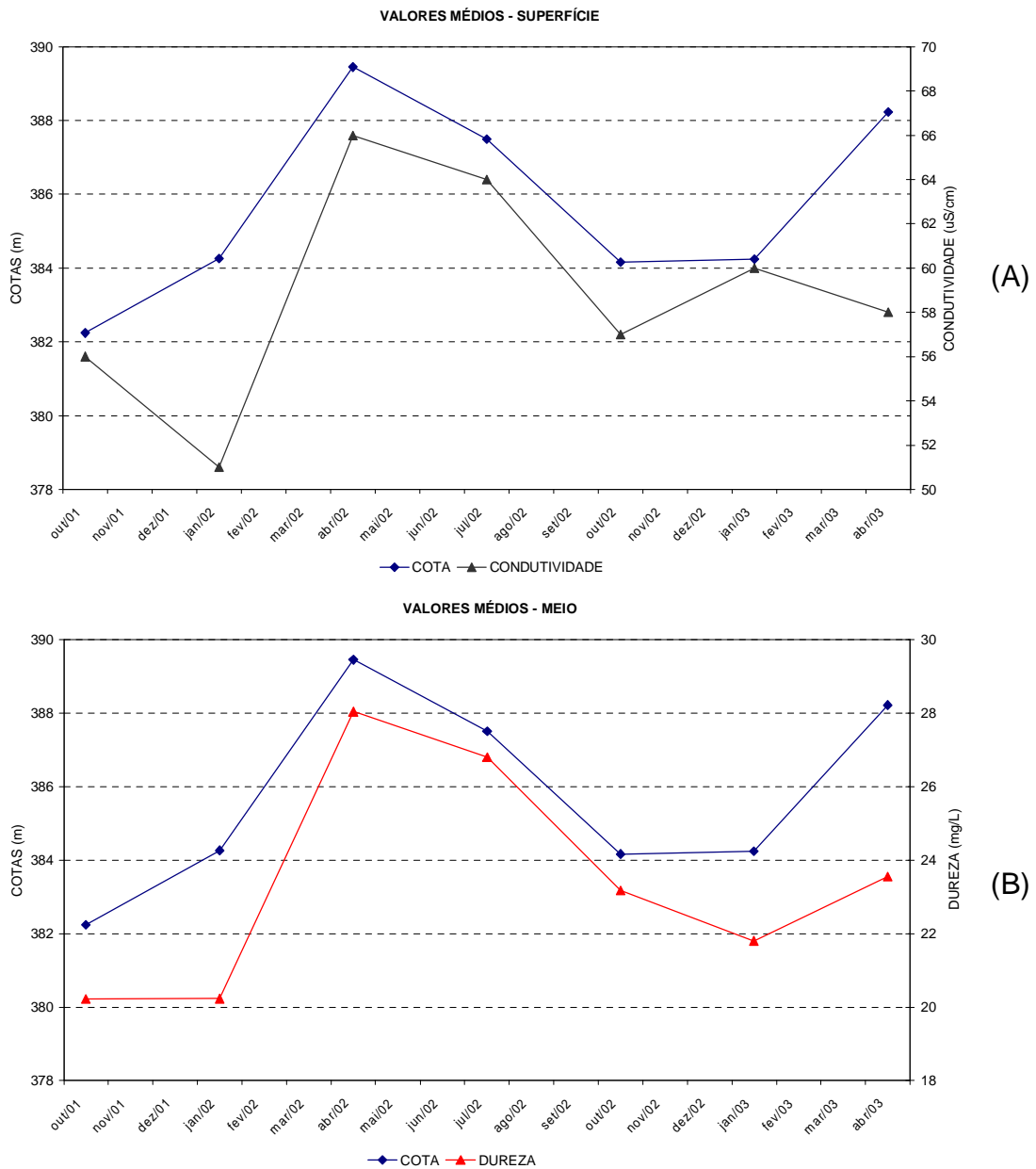
#### 4.1.10 - Condutividade e Dureza

a) A dureza resulta da presença, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), ou de outros íons metálicos bivalentes em menor intensidade. Os principais problemas das águas com dureza elevada são: a extinção da espuma do sabão, aumento de seu consumo; produção de incrustações nas tubulações e caldeiras (MOTA, 1995).

b) A dureza está relacionada diretamente com o nível do reservatório, em razão do aporte de materiais, como também com a presença de cálcio e magnésio, com influência da geologia da região. Verifica-se uma relação direta com a pluviometria e a vazão afluente com defasagem de tempo, relacionado ao tempo de resposta entre a ocorrência de chuva e a elevação da cota e afluência;

c) A elevação de condutividade elétrica relaciona-se com o transporte de materiais terrígenos, bem como a presença de cálcio e magnésio, tendo influência direta com a geologia da região, desta forma pode-se observar uma relação direta entre estas grandezas.

A Figura 4.12 mostra, o comportamento dos parâmetros de condutividade e dureza, relacionados com a variação do nível do reservatório de Sobradinho.

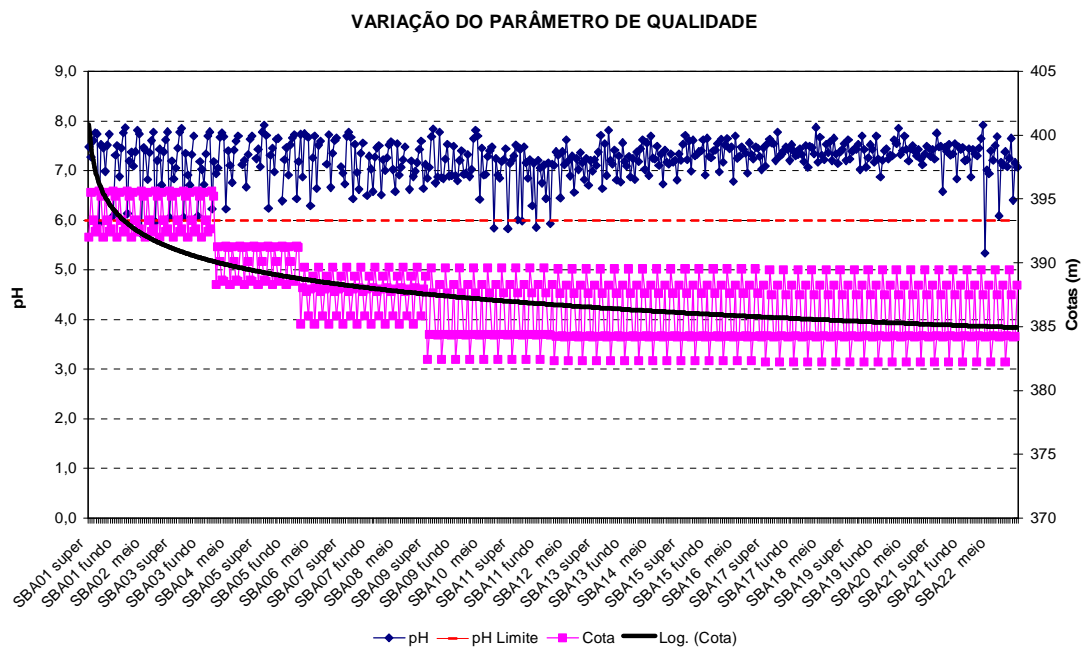


**Figura 4.12** - Gráficos de correlação entre as grandezas: cota média ocorrida no período de coleta de outubro/2001 a abril/2003 do reservatório de Sobradinho e os valores médios ocorridos na superfície deste reservatório do parâmetro condutividade (A) e cota média e os valores médios ocorridos na profundidade média deste reservatório do parâmetro dureza (B).

#### 4.1.11 - Resumo das Análises

Verifica-se que os parâmetros que estão mais diretamente relacionados com o aporte de matéria orgânica e que apresentam variações espaciais pontuais, como também recebem maior influência de outros parâmetros, não apresentam relações direta ou inversa com a cota, vazão ou pluviometria, tais como: nitrogênio dissolvido (amônia, nitrito e nitrato), fosfato inorgânico, clorofila, cloreto e temperatura. Precisa-se considerar que pelas características do reservatório de Sobradinho, o qual este apresenta heterogeneidade espacial, e a maneira com que este reservatório responde diferencialmente às variações de nível, sendo provavelmente a principal razão das dispersões e variâncias entre os dados e conseqüente dificuldade de estabelecer uma correlação entre estes parâmetros. Deve-se levar em consideração, também, que as variáveis se interrelacionam, o que gera a dificuldade de uma análise individualizada. Entretanto, verifica-se que algumas variáveis podem ser relacionadas, em função de suas respostas à variação de cota e vazão, decorrentes da diminuição da capacidade de diluição na redução destes.

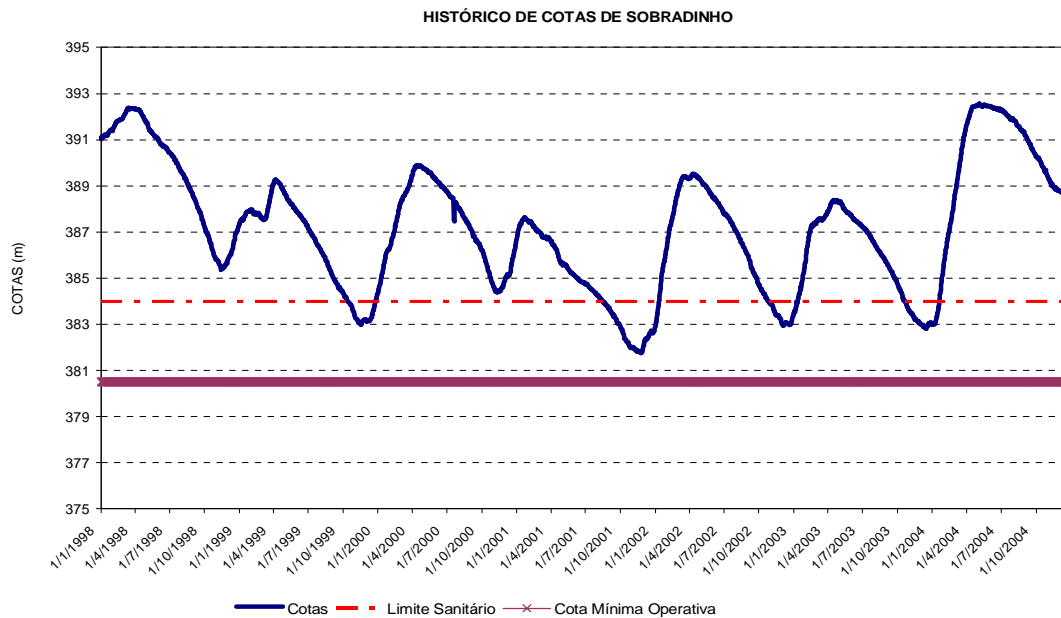
Verifica-se que parâmetros como: oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH), transparência, alcalinidade, condutividade e dureza estão diretamente relacionados com as variações das grandezas físicas do reservatório, quais sejam: cota, vazão e pluviometria. Pode-se observar na Figura 4.13, como exemplo, que o parâmetro pH tende a ultrapassar os limites estabelecidos pelo CONAMA, considerando o reservatório de Sobradinho como sendo classe nº. 2, quando a cota tende a reduzir, como se observa na linha de tendência para este parâmetro.



**Figura 4.13** - Gráfico com a variação do parâmetro de qualidade pH no reservatório de Sobradinho, no período de outubro/2001 a abril/2003, ao longo das estações de coleta SBA01 a SBA22, com a indicação da linha de tendência da cota deste reservatório.

Desta forma, recomenda-se um limite sanitário mínimo de 384,00 metros, como o fim de garantir valores de qualidade da água dentro dos limites sanitários estabelecidos, de forma a considerar como limites operacionais que minimizam a deteriorização da qualidade da água, os seguintes 392,50 e 384,00 metros, entre os valores máximo operativo e mínimo sanitário.

Historicamente verifica-se que as cotas máxima e mínima ocorridas nos últimos 7 (sete) anos foram 392,56 e 381,76 metros respectivamente, conforme mostra a Figura 4.14.



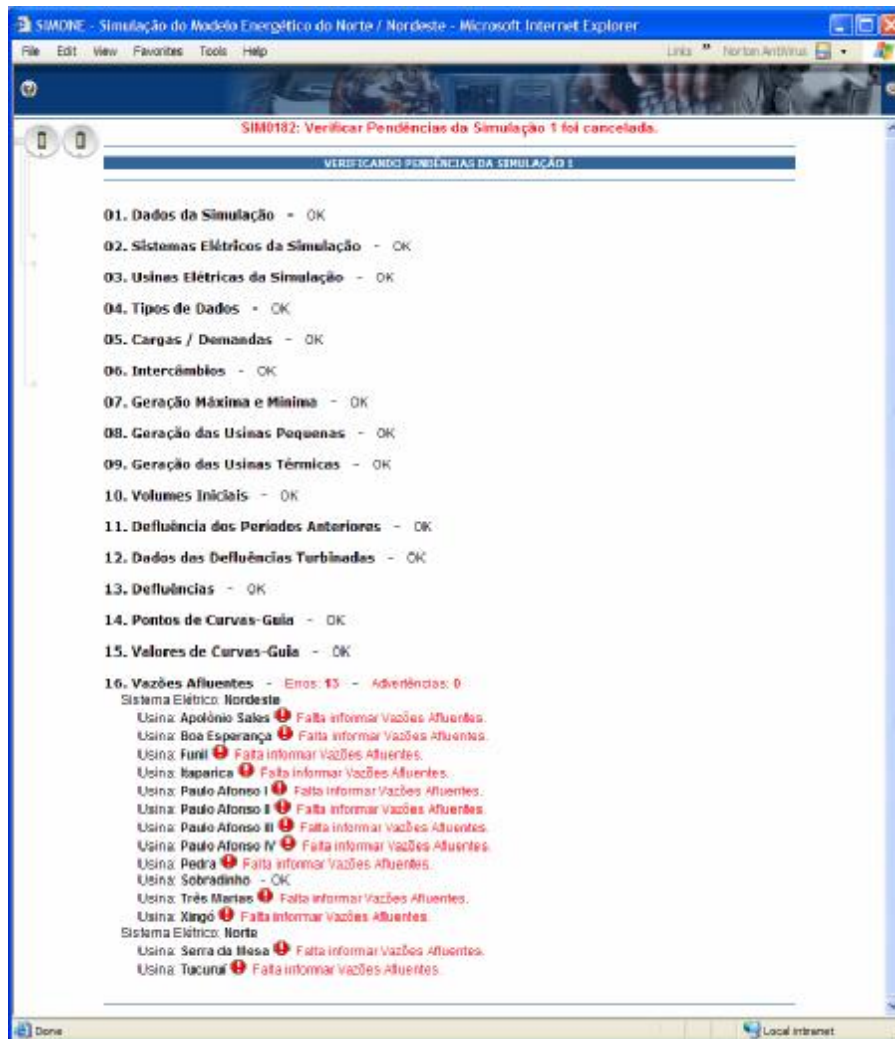
**Figura 4.14** - Gráfico com a variação histórica da cota do reservatório de Sobradinho, no período de janeiro/1998 a dezembro/2004, com as indicações dos limites mínimos: operacional e sanitário.

## 4.2 - APLICAÇÕES E RESULTADO DO MODELO SIMONE MODIFICADO

### 4.2.1 - Verificação das Pendências dos Dados para Simulação e Relatório de Saída dos Resultados

a) Concluída a entrada de dados para a realização da simulação, o modelo realiza uma verificação dos dados de entrada, conforme mostra a Figura 4.15.





**Figura 4.15** - Tela de verificação da entrada dos dados para simulação.

b) Realizada a verificação das pendências, em caso de não haver inconsistência, o modelo gera os relatórios de saída dos resultados dos sistemas elétricos pertencentes à simulação, apresentando as variações das seguintes grandezas entre os períodos considerados: vazão afluente, vazão defluente turbinada e vertida, vazão evaporada, percentual do volume útil do reservatório no início e fim do período, cota, produtividade da usina e potência máxima (Figura 4.16).

**SIMONE - SIMULAÇÃO DO MODELO ENERGÉTICO DO NORTE / NORDESTE**
**VAZÃO PREVISTA - RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO**
*Simulação Mensal - Período: MAIO/2004 a ABRIL/2005*

DATA	VAZÃO (m³/s)				%VOL		COTA (m)	PROD	POT MAX
	AFL	TUR	VER	EVP	INI	FIM			
05/04	2991	1929	362	700	100.0	100.0	392.51	0.2629	1050
06/04	2315	1898	0	500	100.0	99.2	392.45	0.2662	1050
07/04	1883	1910	0	500	99.2	95.1	392.13	0.2647	1050
08/04	1711	1948	0	500	95.1	93.1	391.98	0.2636	1050
09/04	1569	2009	0	500	93.1	91.5	391.85	0.2625	1050
10/04	1592	2065	0	500	91.5	90.9	391.81	0.2618	1050
11/04	1940	2059	0	500	90.9	94.4	392.08	0.2630	1050
12/04	2857	2093	264	500	94.4	100.0	392.51	0.2623	1050
01/05	3925	1922	1503	500	100.0	100.0	392.51	0.2545	1038
02/05	4499	1905	2094	500	100.0	100.0	392.51	0.2512	1026
03/05	4500	1917	2083	500	100.0	100.0	392.51	0.2512	1026
04/05	3813	1938	1375	500	100.0	100.0	392.51	0.2552	1041
MÉDIA	2799	1966	640	517				0.2599	1044

(A)

**SIMONE - SIMULAÇÃO DO MODELO ENERGÉTICO DO NORTE / NORDESTE**
**VAZÃO PREVISTA - RESERVATÓRIO DE SERRA DA MESA**
*Simulação Mensal - Período: MAIO/2004 a ABRIL/2005*

DATA	VAZÃO (m³/s)				%VOL		COTA (m)	PROD	POT MAX
	AFL	TUR	VER	EVP	INI	FIM			
05/04	594	300	0	13	32.1	33.8	438.89	0.9285	1014
06/04	412	300	0	20	33.8	34.4	439.15	0.9335	1022
07/04	312	300	0	21	34.4	34.3	439.13	0.9346	1024
08/04	246	300	0	21	34.3	33.9	438.91	0.9335	1022
09/04	236	300	0	25	33.9	33.3	438.65	0.9313	1018
10/04	345	300	0	19	33.3	33.5	438.73	0.9305	1017
11/04	602	300	0	16	33.5	35.2	439.54	0.9346	1024
12/04	1100	300	0	16	35.2	40.1	441.72	0.9484	1046
01/05	1469	300	0	6	40.1	47.3	444.65	0.9719	1086
02/05	1704	300	0	2	47.3	55.1	447.49	0.9982	1130
03/05	1555	300	0	7	55.1	62.8	449.99	1.0225	1172
04/05	1106	300	0	10	62.8	67.6	451.42	1.0402	1203
MÉDIA	807	300	0	15				0.9590	1065

(B)

**Figura 4.16** - Relatórios de saída referente a uma simulação mensal nas regiões Nordeste (A) e Norte (B).

c) O Modelo pode apresentar o balanço de geração dos sistemas elétricos pertencentes à simulação, apresentando a distribuição de carga entre as usinas nos períodos considerados, como também a geração de térmica, intercâmbio e a carga ou demanda a ser atendida, conforme mostra a Figura 4.17.

**Chesf** SIMONE - SIMULAÇÃO DO MODELO ENERGÉTICO DO NORTE / NORDESTE  
 BALANÇO DE GERAÇÃO - SISTEMA NORDESTE (576 usinas)  
 Simulação Mensal - Período: MAIO/2004 a ABRIL/2005

DATA	USB	UIT	UAS	UPA	USQ	UXI	UBE	PEO	TER	INT	CAR	EST	DEF
05/04	507	958	102	450	1642	2247	98	372	0	0	6376	0	0
06/04	505	891	102	450	1641	2246	98	361	0	0	6295	0	0
07/04	505	872	102	450	1683	2289	98	361	0	0	6361	0	0
08/04	514	882	102	450	1727	2332	95	361	0	0	6463	0	0
09/04	527	907	102	450	1793	2398	95	361	0	0	6634	0	0
10/04	541	933	102	450	1861	2467	101	361	0	0	6816	0	0
11/04	542	935	102	450	1862	2468	199	361	0	0	6919	0	0
12/04	549	1031	102	450	1816	2422	200	361	0	0	6931	0	0
01/05	489	1219	102	450	1604	2218	200	377	0	0	6659	0	0
02/05	479	1360	102	450	1576	2195	201	377	0	0	6741	0	0
03/05	481	1386	102	450	1605	2226	200	377	0	0	6828	0	0
04/05	495	1247	102	450	1634	2249	198	372	0	0	6747	0	0
MÉDIA	511	1052	102	450	1704	2313	149	367	124	0	6647	0	0

(A)

**Chesf** SIMONE - SIMULAÇÃO DO MODELO ENERGÉTICO DO NORTE / NORDESTE  
 BALANÇO DE GERAÇÃO - SISTEMA NORTE (576 usinas)  
 Simulação Mensal - Período: MAIO/2004 a ABRIL/2005

DATA	USM	UCB	ULJ	UTU	PEO	TER	INT	CAR	DEF
05/04	279	124	81	2711	0	0	0	2916	0
06/04	280	124	79	2730	0	0	0	2932	0
07/04	280	124	77	2750	0	0	0	2951	0
08/04	280	123	76	2787	0	0	0	2987	0
09/04	279	123	76	2808	0	0	0	3007	0
10/04	279	124	78	2801	0	0	0	3003	0
11/04	280	124	80	2779	0	0	0	2983	0
12/04	285	124	80	2747	0	0	0	2951	0
01/05	292	124	81	2707	0	0	0	2913	0
02/05	299	125	82	2744	0	0	0	2951	0
03/05	307	125	81	2762	0	0	0	2968	0
04/05	312	125	82	2778	0	0	0	2984	0
MÉDIA	288	124	79	2759	0	0	0	2962	0

(B)

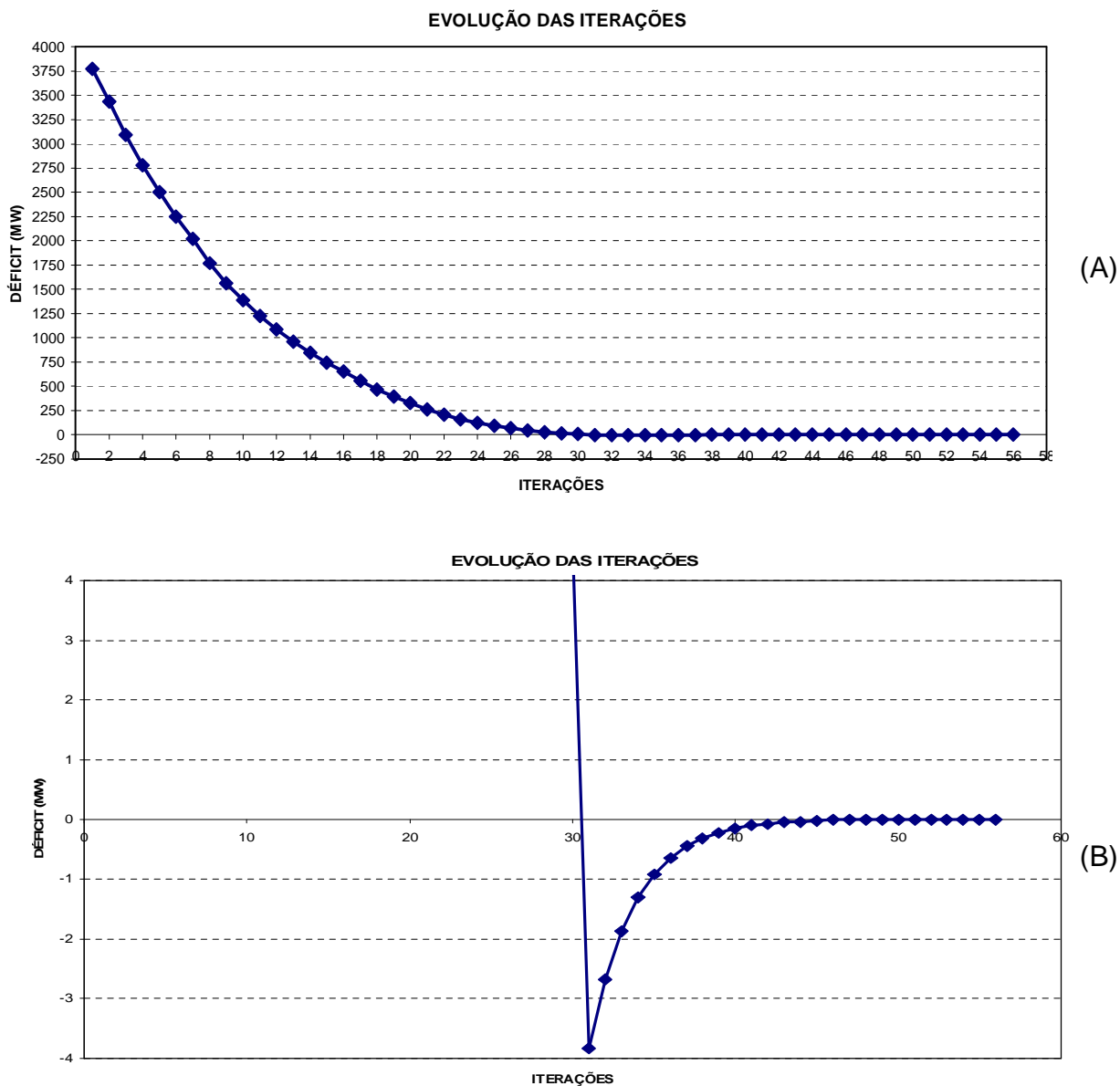
**Figura 4.17** - Relatórios de saída do balanço de geração nas regiões Nordeste (A) e Norte (B).

d) O Modelo apresenta outro modo de saída, chamado de simulação hidráulica das usinas, apresentando as variações das seguintes grandezas entre os períodos considerados: vazão afluente, vazão defluente turbinada e vertida, vazão evaporada, energias turbinada e vertida turbinável, energia de ponta, percentual do volume útil do reservatório no início e fim do período, cota e produtividade, como pode ser verificado na Figura 4.18.

DATA	USINA	VAZÃO (m³/s)				ENERGIA		PONTA (MW)	%VOL		COTA FIM	PROD
		AFL	TUR	VER	EVP	VTB	GER		INI	VOL		
05/04	USB	2991	1929	362	700	77	507	1050.	100.0	100.0	392.51	0.2629
	UIT	2156	2076	47	33	21	958	1500.	100.0	100.0	303.98	0.4615
	UAS	2123	555	0	4	0	102	400.	100.0	100.0	251.50	0.1843
	UBE	441	249	171	21	67	98	225.	100.0	100.0	304.08	0.3931
	UPE	0	6	0	3	0	2	16.	52.5	50.6	220.48	0.2695
	UFL	14	0	15	0	6	0	30.	100.0	0.1	93.49	0.3587
	USM	594	300	0	13	0	279	1014.	32.1	33.8	438.89	0.9285
	UTU	12932	4610	8322	0	2205	2711	5064.	100.0	100.0	74.00	0.5882
	UPA	555	555	0	0	0	450	1424.	-	-	-	0.8133
	USQ	1564	1517	0	5	0	1642	2460.	-	-	-	1.0819
	UXI	2114	2070	0	2	0	2247	3162.	-	-	-	1.0857
	UCB	300	297	0	3	0	124	472.	-	-	-	0.4173
	ULI	297	294	0	4	0	81	902.	-	-	-	0.2744

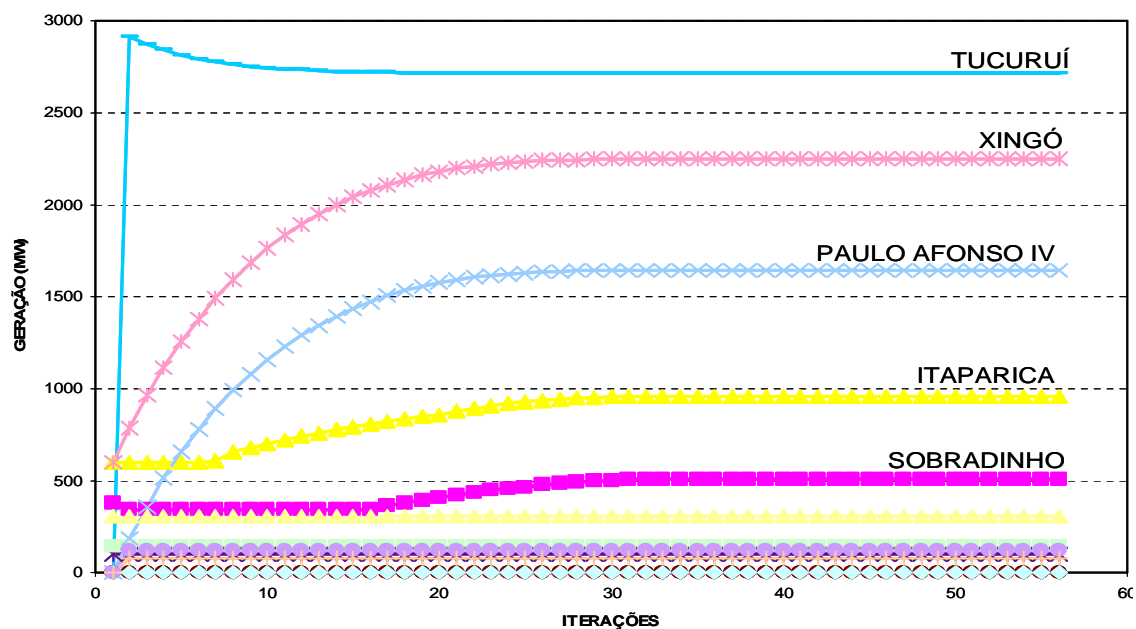
**Figura 4.18** - Relatório de saída da simulação hidráulica das usinas pertencentes aos sistemas elétricos.

e) O gráfico da Figura 4.19 apresenta a variação do déficit ao longo das iterações, demonstrando que o modelo, gradativamente busca o atendimento ao mercado consumidor e o equilíbrio dos reservatórios pelo volume equivalente.



**Figura 4.19** - Gráfico em (A) mostra a variação do déficit ao longo das iterações e em (B) o detalhe na iteração número 30, onde ocorre um superávit.

f) Para o atendimento ao mercado, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 4.20, o modelo prioriza a geração nas usinas com maior produtividade, com o objetivo de otimizar as vazões disponíveis na produção de energia.



**Figura 4.20** - Gráfico que apresenta a distribuição da geração de energia entre as usinas pertencentes aos sistemas elétricos.

## CAPÍTULO 5.0

---

---

### CONCLUSÕES

A sociedade moderna ampliou a diversidade de usos da água. O quadro tornou-se complexo com o aparecimento de demandas conflitantes. Nas regiões industrializadas, de exploração mineral e de concentração populacional, existe uma degradação dos recursos hídricos, estabelecendo conflitos com aqueles usuários que demandam melhores condições qualitativas. Em conjunto com estes conflitos ocorrem incrementos das demandas hídricas, devido ao aumento populacional, agravando o problema de abastecimento, particularmente nas regiões semi-áridas. Outro problema é o controle de inundações, que se tornou imperativo nas regiões que sofreram o efeito simultâneo da urbanização não planejada, que impermeabilizou o solo e invadiu o leito dos rios, e do manejo do solo não adequado que assoreou os cursos de água.

Desta forma, verifica-se que a implementação de modelos computacionais visando o atendimento de múltiplos usuários, como também levando em consideração a qualidade e a quantidade da água é imperativo para as empresas geradoras de energia, visto que estas devem objetivar a otimização dos recursos hídricos disponíveis, como também considerar este recurso de forma integrada com uma análise completa da alternativa mais favorável para atendimento aos usos consuntivos e ao mercado consumidor de energia elétrica. A disponibilidade dos Recursos Hídricos é hoje um fator limitante para o atendimento deste objetivo, mostrando claramente a necessidade de investimentos em fontes alternativas, principalmente aquelas mais disponíveis no Nordeste, que são as do tipo: solar e eólica. Deste modo, são imprescindíveis que os novos modelos contemplem a inclusão de outras fontes de energia como as termoelétricas. Observa-se que o sistema de interligação entre as regiões tem mostrado sua eficácia na utilização da geração hidrelétrica otimizada entre as regiões, evitando o desperdício de energia, através das vazões vertidas possíveis de serem turbináveis.



Quanto à irrigação, principal uso consuntivo, observa-se o consumo crescente deste tipo de uso, sendo imperativa a implementação de técnicas de manejo, com o objetivo de minimizar o desperdício de água, devendo o seu uso ser incentivado em razão da necessidade crescente de produção de alimentos. Deste modo, a alocação destes recursos deve ser assegurada através de instrumentos legais, como o direito de uso pelas outorgas concedidas pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Neste trabalho, foi realizada uma análise comparativa entre os modelos computacionais disponíveis na Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), para o gerenciamento de sistemas hidrotérmicos, com o objetivo básico de obter as metas de operação de cada usina do sistema, seja hidrelétrica ou termelétrica, de forma a atender à demanda e minimizar o valor esperado do custo de operação, ao longo do período de planejamento. Desta forma, procurou-se verificar qual seria o melhor modelo que se adaptaria às finalidades propostas para o gerenciamento de sistemas hidrelétricos, com o fim de atender aos usos múltiplos e aspectos de qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis.

Deste modo, o modelo computacional que mais se aproxima dos objetivos propostos foi o SIMONE, por ser um simulador de usinas individualizadas, com um horizonte de simulação de até 5 anos, possuindo discretização mensal ou semanal e utilizando em sua metodologia de cálculo, técnicas heurísticas de simulação, além de ser o único no qual a CHESF é a proprietária do modelo, sendo portanto, possível o acesso ao programa fonte e trazendo também liberdade para realização das alterações planejadas.

O objetivo das modificações no modelo foi o de permitir que o mesmo pudesse simular as usinas individualmente, para atender às necessidades do sistema hidrelétrico interligado do Norte e Nordeste, observando os aspectos de qualidade e quantidade, buscando também atender de forma otimizada aos diversos usuários de água.

A análise qualitativa teve a sua importância quanto ao atendimento dentro dos padrões sanitários estabelecidos através das resoluções emitidas pelos conselhos federais. Observa-se que, com a redução dos volumes armazenados nos reservatórios, há uma diminuição na capacidade de diluição, acarretando na redução dos padrões sanitários da água. Neste contexto, era



importante definir limites operativos de níveis dos reservatórios para o atendimento e a manutenção destes limites pré-estabelecidos, para o enquadramento adequado do reservatório em sua classe sanitária.

A análise da qualidade de água do reservatório de Sobradinho foi realizada em vinte e duas estações de amostragem, distribuídas a montante da barragem, contemplando os quatro trechos principais do reservatório, a saber: porção inferior (imediatamente a montante da barragem), incluindo o meandro da cidade de Casa Nova (BA); a porção norte, entre Casa Nova e Pilão Arcado (BA); a porção sul, entre Sobradinho e Sento Sé (BA); e a porção superior, entre Sento Sé, Pilão Arcado e Xique-Xique (BA). Desta forma, foram levadas em consideração as diferentes regiões do reservatório: a zona de transição rio/reservatório, suas diferentes reentrâncias e a presença de tributários.

O objetivo desta análise foi a de obter uma relação entre as grandezas físicas, tais como: cota, pluviometria e vazões afluentes com os parâmetros de qualidade da água selecionados.

Verificou-se que os parâmetros que estão mais diretamente relacionados com o aporte de matéria orgânica e que apresentam variações espaciais pontuais, como também recebem maior influência de outros parâmetros, não apresentaram relações direta ou inversa com a cota, vazão ou pluviometria, tais como: nitrogênio dissolvido (amônia, nitrito e nitrato), fosfato inorgânico, clorofila, cloreto e temperatura. Precisa-se considerar que, pelas características do reservatório de Sobradinho quanto à sua heterogeneidade espacial, e a maneira com que este responde diferencialmente às variações de nível, estas características sejam provavelmente a principal razão das dispersões e variâncias entre os dados analisados e conseqüente dificuldade de estabelecer uma correlação entre estes parâmetros. Deve-se levar em consideração, também, que as variáveis se interrelacionam, o que gera a dificuldade de uma análise individualizada. Entretanto, verifica-se que algumas variáveis podem ser relacionadas com a variação de cota e vazão.

Desta forma, foram verificados que parâmetros como: oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH), transparência, alcalinidade, condutividade e dureza, estão diretamente relacionados com as variações das grandezas físicas e hidrológicas do reservatório, quais sejam: cota, vazão e pluviometria. Observou-se que, pelos dados coletados e verificando os limites

estabelecidos pelo CONAMA, considerando o reservatório de Sobradinho como sendo classe nº. 2, os valores de oxigênio dissolvido e potencial hidrogeniônico (pH) extrapolam os limites mínimos estabelecidos por esta Resolução, para valores de cotas iguais ao mínimo operativo (380,50m). Desta forma, recomenda-se um limite sanitário mínimo de 384,00 metros, com o fim de garantir valores de qualidade da água dentro dos limites sanitários estabelecidos, de forma a considerar como limites operacionais que minimizem a deteriorização da qualidade da água, os valores de 392,50 e 384,00 metros, correspondentes aos valores máximo operativo e mínimo sanitário, respectivamente.

O modelo SIMONE original era um sistema utilizado na CHESF com desenvolvimento em linguagem de programação FORTRAN e armazenamento de dados em arquivos tipo texto, sendo monousuário, e sua cujo uso pode causar dúvidas e erros aos usuários.

No atual contexto, o Modelo está disponível para os usuários na Intranet da CHESF, além de otimizar o mercado de consumo de energia como também o atendimento aos múltiplos usuários das bordas dos lagos dos reservatórios, tentando garantir os aspectos qualitativos e quantitativos das águas armazenadas.

Desta forma, o aperfeiçoamento do modelo SIMONE teve como principal objetivo a disponibilização na Intranet oferecendo aos seus usuários maior comodidade para realização de simulações, consultas, dentre uma série de outras operações, tais como: vários usuários podendo fazer simulações concomitantemente, permitindo uma maior integração e automação dos cálculos, ou seja, reduzindo a possibilidade de erros humanos, através de interfaces visuais amigáveis e atualização tecnológica para linguagem de programação JAVA, com utilização de banco de dados em ORACLE, podendo mais facilmente realizar, manter arquivada, consultar e imprimir relatórios de qualquer simulação.

Finalmente, verificou-se que o aperfeiçoamento do novo modelo SIMONE em linguagem técnica moderna fez com que o mesmo se tornasse um instrumento de simples utilização e muito eficaz no que diz respeito à determinação da repartição otimizada dos Recursos Hídricos disponíveis entre múltiplos usuários de um sistema interligado de geração de energia elétrica.

## CAPÍTULO 6.0

---

### RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista a utilização dos Recursos Hídricos de forma otimizada entre os vários usuários, o atendimento à legislação vigente e à implantação de sistemas de monitoramento da quantidade e qualidade da água nos reservatório do Sistema Interligado Nacional (SIN), sugere-se:

- Implantar um plano de monitoramento contínuo de qualidade da água no reservatório de Sobradinho e nos demais reservatórios do SIN;
- Observar os aspectos qualitativos da água na operação simultânea dos reservatórios, com o fim de disponibilizar os recursos hídricos nos padrões de aceitabilidade para todos os usos;
- Realizar a análise multivariada em relação aos parâmetros físico-químicos coletados no reservatório de Sobradinho, com o fim de considerar o inter-relacionamento entre estes;
- Desenvolver um modelo de qualidade da água, com o fim de melhor avaliar as variações dos parâmetros físico-químicos determinantes desta qualidade em função das variações de nível e vazão afluente a estes reservatórios;
- Atualizar as curvas cota x área x volume realizando batimetria no reservatório de Sobradinho e nos demais reservatórios do SIN;
- Implantar sistemas de monitoramento contínuo de medições de descargas e de sedimentos no baixo São Francisco, com o fim de subsidiar as análises técnicas sobre a evolução do assoreamento nesta região;
- Implantar um Sistema Georreferenciado de informações relacionadas aos usos consuntivos, medição de descargas e parâmetros de qualidade da água em tempo real;
- Aprimorar os estudos relativos aos modelos de simulação com o fim de atenuar os conflitos e otimizar os recursos hídricos disponíveis;

- Manter atualizado o cálculo das séries de vazões afluentes aos aproveitamentos hidrelétricos, bem como as vazões incrementais e naturais;
- Aprimorar os estudos relativos à determinação dos vetores de evaporação dos aproveitamentos hidrelétricos pertencentes às bacias hidrográficas do SIN e implantar equipamentos nas áreas próximas aos reservatórios para medição das variáveis físicas que fornecerão subsídios para trabalhos de estudo e pesquisa neste campo, com o objetivo de melhor quantificar as reais perdas provenientes deste fenômeno;
- Incentivar a parceria entre instituições de ensino e pesquisa juntamente com os agentes geradores de energia, com o fim de melhorar, desenvolver e aplicar sistemas e modelos de gerenciamento da operação e comercialização dos aproveitamentos hidrelétricos;
- Manter atualizado o levantamento dos diversos usos consuntivos nas bacias hidrográficas pertencentes ao SIN;
- Implementar uma fiscalização eficiente quanto à concessão de outorgas relativas aos usos consuntivos nas bacias do SIN;
- Implementar sistemas de análise da eficiência dos usos dos recursos hídricos destinados à irrigação;
- Incentivar a participação da sociedade nas discussões e negociações na análise dos conflitos de uso da água;
- Implantar ações que promovam o cumprimento da legislação referente aos usos dos recursos hídricos, quanto ao que se dispõe nas leis, decretos e resoluções;

## CAPÍTULO 7.0

---

---

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas; *A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil*, Edição Comemorativa do Dia Mundial da Água, Brasília - DF, 2002, 64p.

ANA - Agência Nacional de Águas; *Resoluções concedendo o direito de outorgas no Brasil 2004*. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br / AcoesAdministrativas/Resolucoes/resolucoes2004.asp](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/Resolucoes/resolucoes2004.asp)>. Acesso em: dezembro de 2004.

ANA - Agência Nacional de Águas; *Projeto GEF - Global Environment Facility São Francisco*. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br / gefsf](http://www.ana.gov.br/gefsf)>. Acesso em: fevereiro de 2005.

ARAÚJO, A. M.; *Um Plano de Amostragem de Qualidade D'água em Estuários: Caso do Recife*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 5 nº. 4 outubro/dezembro 2000, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 2000, p. 115-116.

AZEVEDO, L.G.T.; *Sistema de Apoio à decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da água: Metodologia e Estudo de Caso*, RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3 nº. 1 janeiro/março 1998, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 1998, p. 21-31.

BORGES, M. J.; *Monitoramento da Qualidade Hídrica e Eficiência de Interceptores de Esgoto em Cursos D'água Urbanos da Bacia Hidrográfica do Córrego Jaboticabal*, RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 8 nº. 2 abril/junho 2003, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 2003, 162 p.

BRANCO, S. M. & ROCHA, A. A.; *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*, Editora Edgard Blücher, São Paulo - SP, 1977, 185 p.

CCON - Comitê Coordenador de Operação Norte/Nordeste; *Metodologia e Critérios para elaboração dos planos e programas de Operação do Sistema Interligado da Região Norte/Nordeste*, Relatório CCON/CPO - 1069/96, Comissão para Elaboração dos planos e programas de Operação da região Norte/Nordeste, Rio de Janeiro - RJ, 1996.

CEMIG - Companhia Energética do Estado de Minas Gerais; *Usinas da CEMIG, Informações Técnicas da Usina de Três Marias, 2005*. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em: fevereiro de 2005.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; *Modelo de Simulação Energética do Norte/Nordeste/Sul/Sudeste - NEWAVE*, Manual de referência, Rio de Janeiro - RJ, 2001a.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; *Modelo de Simulação Energética do Norte/Nordeste/Sul/Sudeste - DECOMP*, Manual de referência, Rio de Janeiro - RJ, 2001b.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; *Modelo de Simulação Energética do Norte/Nordeste/Sul/Sudeste - SUISHI*, Manual de referência, Rio de Janeiro - RJ; 2001c.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; *Descrição dos Programas Computacionais*. Disponível em: <<http://www.cepel.br> / serviços / descprog.shtm>. Acesso em: fevereiro de /2005.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco; *Aplicação do Modelo de Morton em Açudes da Região Nordeste*. Nota Técnica - NT-DOCH-014/92, Recife - PE, 1992.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco; *Modelo de Simulação Energética do Norte/Nordeste - SIMONE*. Manual de Metodologia Versão 1.1, Recife - PE, 2001.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco; *A Revitalização da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco e a Atuação do Comitê da Bacia*. Relatório com a Visão da CHESF, Recife - PE, 2003a.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco; *Referências Operacionais do Sistema de Geração*. Departamento de Manutenção da Geração - DMG, Recife - PE, 2003b.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco; *Fichas Técnicas das usinas da região Nordeste*. Disponível em: <<http://www.chesf.gov.br/energia/parquedegeracao/usinas.shtml>>. Acesso em: novembro de 2004.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos - CTPNRH, Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH; *Documento base de referência novembro 2003*. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso: janeiro de 2005.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba, 2005; *Informações sobre as bacias dos rios São Francisco e Parnaíba*. Disponível em: <[http://www.codevasf.gov.br/menu/os\\_vales/regioes.shtml](http://www.codevasf.gov.br/menu/os_vales/regioes.shtml)>. Acesso em: maio de 2005.

DAMÁZIO, J. M.; *Uso do Modelo Gráfico para Resolução de Conflitos em Problemas de Recursos Hídricos no Brasil*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 5 nº. 4 outubro/dezembro 2000, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 2000, p. 93-94.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A.; *OPUS - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas*. Manual de Metodologia, Versão 3.0, Rio de Janeiro - RJ, 1990a.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A.; *SUI - Simulação a Usinas Individualizadas*. Manual de Utilização do Sistema, Versão 3.0, Rio de Janeiro - RJ, 1990b.

ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A.; *Ficha Técnica da Usina de Tucuruí. Geração*. Disponível em: <<http://www.eln.gov.br/meiotuc.htm>>. Acesso em: novembro de 2004.

FADURPE - Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional, Departamento de Pesca, UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco; *Monitoramento Limnológico e da Produção Pesqueira do Reservatório de Sobradinho, Componente: Monitoramento Limnológico*. Relatório Final, Recife - PE, 2003.

FURNAS - Centrais Elétricas S. A.; *Institucional, Sistema Furnas, Ficha Técnica da Usina de Serra da Mesa*. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br>>. Acesso em: novembro de 2004.

GEMA - Grupo Ecológico Mário Arminantes, Monitoramento Ambiental (Síntese do trabalho); *Principais Parâmetros de Análise da Água*. Disponível em: <<http://www.paranaliseagua.sites.uol.br>>. Acesso em: outubro de 2003.

GOMES, H. P.; *Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento, Necessidades Hídricas das Culturas.*, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - PB, 1999, p. 28-30.

GUIMARÃES Jr., C.; *Aspectos Limnológicos do Reservatório de Ibitinga - SP*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3 nº. 1 janeiro/março 1998, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 1998, p. 89-102.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>>. Acesso em: janeiro de 2005a.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default>>. Acesso em: fevereiro de 2005b.



IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *CEMPRE - Cadastro Central de Empresas, CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/cempre/default>>. Acesso: fevereiro de 2005c.

LIRA, M. M. P.; *Aspectos da Gestão dos Recursos Hídricos na sub-bacia do Rio da Prata (Bonito - PE)*. Estudo de qualidade da água, Dissertação de Mestrado, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2000.

MOTA, S.; *Preservação e Conservação de Recursos Hídricos*. Editora ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro - RJ, 1995,187p.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Diretrizes para as Regras de Operação de Controle de Cheias, Bacia do rio São Francisco*. Relatório - RE/DPP 3/060/2001, Rio de Janeiro - RJ, 2001a.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Evaporações Líquidas nas Usinas Hidrelétricas*. Relatório - RE/GPO 3/159/2001, Rio de Janeiro - RJ, 2001b.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos*. Rio de Janeiro - RJ, 2002.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água nas Principais Bacias do Sistema Interligado Nacional - SIN*. Relatório Final, Metodologia e Resultados Consolidados, Rio de Janeiro - RJ, 2003a.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Vetores de Evaporação Líquida para o Subsistema Nordeste*. NT - 074/2003Rio de Janeiro - RJ, 2003b.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Reavaliação de Séries de Vazões Naturais na Bacia do rio São Francisco*. Metodologia e Critérios de Reconstrução de Vazões Naturais, Rio de Janeiro - RJ, 2003c.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Metodologia para Reconstrução das Vazões Naturais dos Aproveitamentos do SIN - Sistema Interligado Nacional*. Período 2002/2003, NT ONS 148 - 2004 Rio de Janeiro - RJ, 2004a.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Mapas do Sistema Interligado Nacional, SIN, Região Norte/Nordeste*. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/ons/sin/index\\_mapa.htm](http://www.ons.org.br/ons/sin/index_mapa.htm)>. Acesso em: novembro de 2004b.



Phd Soluções em Softwares; *Modelo de Simulação do Sistema Norte/Nordeste - SIMONE*, Documentos de Requisitos, Recife - PE, 2004.

REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B. & TUNDISI, J. G.; *Águas Doces no Brasil, Capital ecológico, Uso e Conservação*, Editora Escrituras e Distribuidora de Livros, Cap. 19, Org. Coord. Científica, São Paulo - SP, 2002, 703p.

REDE - Empresas de Energia Elétrica; *Ficha Técnica da Usina de Lajeado. Geração*. Disponível em: <<http://www.gruporede.com.br>>. Acesso em: novembro de 2004.

SBPC - Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Regional Pernambuco. *Encontro Internacional sobre Transferência de Águas entre Grandes Bacias Hidrográficas*. Workshop sobre a Transposição de Águas do rio São Francisco, Relatório das Discussões Recife - PE, 2004.

SETOR PESQUEIRO; *Oxigênio Dissolvido em Sistemas Aquáticos, aquíicultura*. Disponível em: <<http://www.setorpesqueiro.com.br>>. Acesso em: outubro de 2003.

SILVEIRA, G. L.; *Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali - quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 8, número 1, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 2002.

SRH - Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Recursos Hídricos. *Conjunto de Normas Legais*. Edições MMA, Brasília - DF, 2004, 243p.

SRH - Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente - MMA, *Divisão Hidrográfica nacional*. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>> - acesso em: maio de 2005.

TRACTEBEL ENERGIA; *Ficha Técnica da Usina de Cana Brava Parque Gerador*. Disponível em: <<http://www.tractebelenergia.com.br>>. Acesso em: novembro de 2004.

TUCCI, C. E. M.; *Hidrologia Ciência e aplicação*. Editora da Universidade Federal, Cap. 19, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 1993, 943p.

VON SPERLING, M.; *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Editora Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 1998, 243p.

# CAPÍTULO 8.0

---

---

## ANEXOS

### 8.1 - LISTA DE SUB-ROTINAS DO PROGRAMA SIMONE

A.0 - Simulação Otimizada dos Sistemas Norte/Nordeste	SIMONE;
1.0 - Sub-rotina de Leitura de Dados do Simone	SIMLEI;
1.1 - Sub-rotina de Leitura de Dados Iniciais	SIMDAD;
1.2 - Sub-rotina de Leitura de Dados do Cadastro	SIMCAD;
1.3 - Sub-rotina de Leitura de Dados de Carga	SIMCAR;
1.4 - Sub-rotina de Leitura de Dados de Intercâmbio	SIMINT;
1.5 - Sub-rotina de Leitura de Dados de Geração	SIMGER;
1.6 - Sub-rotina de Leitura de Dados de Defluência	SIMDEF;
1.6.1 - Sub-rotina que Calcula o Volume dado o Percentual	SIMPVO;
1.7 - Sub-rotina de Leitura de Dados de Vazão Natural/MLT	SIMNAT;
1.8 - Sub-rotina de Leitura dos Códigos de Impressão	SIMCOD;
1.9 - Sub-rotina que Calcula o Volume dado o Percentual	SIMPVO;
2.0 - Simulação Otimizada dos Sistemas Norte/Nordeste	SIMINV;
2.1 - Sub-rotina de Calendário	CALEND;
2.2 - Sub-rotina de Leitura da Expansão	SIMEXP;
2.3 - Sub-rotina que Calcula o Volume Percentual	SIMVOP;
2.4 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Volume X Cota	SIMVC;
2.4.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
3.0 - Sub-rotina de Cálculo de Vazão Afluente	SIMVAZ;
4.0 - Sub-rotina de Simulação dos Aproveitamentos do Sistema Nordeste	SIMUNE;
4.1 - Sub-rotina que Calcula a Produtividade Equivalente para o Cálculo da Energia Armazenada/Energia Afluente	SIMPEQ;
4.1.1 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Canal de Fuga X Defluência	SIMQCF;
4.1.1.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.1.2 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Volume x Cota	SIMVC;

4.1.2.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.1.3 - Sub-rotina que Calcula a Queda Líquida da Usina	SIMHLI;
4.2 - Sub-rotina que Calcula a Disponibilidade de Potência da Usina	SIMDPT;
4.2.1 - Sub-rotina que Calcula a Queda Líquida da Usina	SIMHLI;
4.2.2 - Sub-rotina que Calcula o Engolimento Máximo	SIMQTM;
4.2.2.1 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula o Engolimento Máximo dada Altura Líquida (Região da Turbina)	SIMQHT;
4.2.2.2 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula o Engolimento Máximo dada Altura Líquida (Região do Gerador)	SIMQHG;
4.2.2.3 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.2.3 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Canal de Fuga x Defluência	SIMQCF;
4.2.3.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.2.4 - Sub-rotina que Calcula a Potência Máxima	SIMDPM;
4.2.4.1 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula a Potência dada Altura Líquida	SIMPH;
4.2.4.1.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.3 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Volume x Cota	SIMVC;
4.3.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.4 - Sub-rotinas do Polinômio que Calcula Área do Reservatório	SIMCA;
4.5 - Sub-rotina que Calcula o Volume Percentual	SIMVOP;
4.6 - Sub-rotina que Calcula a Produtividade Equivalente para o Cálculo da Energia Armazenada/Energia Afluente	SIMENA;
4.6.1 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Volume x Cota	SIMVC;
4.6.1.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.6.2 - Sub-rotina que Calcula a Produtividade Equivalente para o Cálculo da Energia Armazenada/Energia Afluente	SIMPEQ;
4.6.2.1 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Canal de Fuga x Defluência	SIMQCF;
4.6.2.1.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
4.6.2.2 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Volume x Cota	SIMVC;
4.6.2.2.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;

4.6.2.3 - Sub-rotina que Calcula a Queda Líquida da Usina	SIMHLI;
4.7 - Sub-rotina que Calcula o Volume dado o Percentual	SIMPVO;
4.8 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Canal de Fuga x Defluência	SIMQCF;
4.8.1 - Sub-rotina que Informa os Erros do Programa	SIMERR;
5.0 - Sub-rotina de Simulação dos Aproveitamentos do Sistema Norte	SIMUNO;
6.0 - Sub-rotina de Emissão de Relatório	SIMREL;
7.0 - Simulação Otimizada dos Sistemas Norte/Nordeste	SIMCON;
8.0 - Sub-rotina do Polinômio que Calcula Cota x Volume	SIMCV;
9.0 - Sub-rotina que Calcula a Energia Armazenada	SIMEAR;
10.0 - Sub-rotina de Cálculo de Potência Disponível	SIMPOT.

## **8.2 - RESTRIÇÕES HIDRÁULICAS DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS**

### **8.2.1 - Sistema Nordeste**

#### **a) Usina Hidrelétrica de Três Marias**

Empresa: CEMIG

Aproveitamento: Três Marias

Rio: São Francisco

#### **Restrições de montante:**

##### **Nível máximo:**

Restrição - Cidade de Morada Nova de Minas

Quando o nível d'água do reservatório de Três Marias atinge a cota 572,50 m, correspondente ao seu nível máximo operativo, a cidade de Morada Nova de Minas, situada às margens do reservatório, começa a ter algumas estradas vicinais inundadas, o que acarreta o isolamento de alguns distritos do município.

#### **Restrições de jusante:**

##### **Vazões máximas:**

Restrição - Imediatamente à jusante da usina.

O aproveitamento de Três Marias opera com uma restrição condicionada, cujo valor é 2.500 m<sup>3</sup>/s, já que a restrição na cidade de Pirapora - MG é de 4.000 m<sup>3</sup>/s, influenciada pela contribuição da vazão incremental representada, principalmente, pelo rio Abaeté.

**Vazões mínimas:**

Restrição - Navegação no rio São Francisco

A navegação no rio São Francisco encontra-se incipiente no trecho Pirapora – Juazeiro. Os pontos críticos que podem causar encalhe das embarcações foram mapeados e dragados. Contudo diferenças acentuadas de vazões e nível entre os afluentes principais e o rio São Francisco, podem provocar novas erosões e assim agravar os pontos críticos. Segundo acordo firmado entre a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF) e a Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG), a defluência de Três Marias deve ser pelo menos 500 m<sup>3</sup>/s. Entretanto, este valor tem se mostrado insuficiente e aliado a pouca navegação, tem-se praticado vazões inferiores. Atualmente para se atender este requisito, as vazões são avaliadas antecipadamente a cada demanda de transporte de carga, visando manter um calado apropriado nos pontos críticos e assim possibilitar a navegação no momento programado.

**b) Usina Hidrelétrica de SOBRADINHO**

Empresa: CHESF

Aproveitamento: Sobradinho

Rio: São Francisco

**Restrições de jusante:**

**Vazões máximas:**

Restrição - Vazão defluente de 8.000 m<sup>3</sup>/s.

Identifica-se transbordamento da calha principal para descargas superiores a 6.000 m<sup>3</sup>/s. Descargas superiores a 7.000 m<sup>3</sup>/s já acarretam inundações em áreas de agricultura bem como casas e benfeitorias de fazendas. A descarga de 8.000 m<sup>3</sup>/s é adotada pela Comissão Interministerial de Controle de Cheias

no Vale do São Francisco (1980), para o controle de cheias, correspondente ao tempo de recorrência de 15 anos.

**Vazões mínimas:**

Restrição - Vazão defluente de 1.300 m<sup>3</sup>/s.

Vazões defluentes de Sobradinho inferiores a 1.300 m<sup>3</sup>/s ocasionam problemas na navegação (trecho Sobradinho/Juazeiro - BA), em diversas captações de indústrias, bem como em tomadas d'água para abastecimento de cidades e projetos agrícolas localizados no trecho Sobradinho/Itaparica. Já foram liberadas vazões inferiores a este valor, por conta do racionamento de energia (1987 e 2001), tendo os demais usuários do rio sido devidamente alertados quando da realização das referidas programações de vazões mínimas.

**c) Usinas Hidrelétricas de ITAPARICA e MOXOTÓ**

Empresa: CHESF

Aproveitamento: Luiz Gonzaga (Itaparica) e Apolônio Sales (Moxotó)

Rio: São Francisco

**Restrições de jusante:**

**Vazões máximas:**

Não há, devido à existência de reservatórios a jusante muito próximo, sendo o tempo de viagem das vazões defluentes menor que um dia.

**Vazões mínimas:**

Não há, devido à existência de reservatórios a jusante muito próximo, sendo o tempo de viagem das vazões defluentes menor que um dia.

**d) Usina Hidrelétrica de XINGÓ**

Empresa: CHESF

Aproveitamento: Xingó

Rio: São Francisco

**Restrições de jusante:**

**Vazões máximas:**

Restrição - vazão defluente de 8.000 m<sup>3</sup>/s.

Para descargas da ordem de 8.000 m<sup>3</sup>/s verificam-se inundações de casas nas cidades de Traipú - AL e São Brás - AL, assim como galgamento da estrada carroçável entre São Brás - AL e Porto Real do Colégio - AL.

**Vazões mínimas:**

Restrição - Vazão defluente mínima de 1.300 m<sup>3</sup>/s.

Vazão defluente mínima de 1.300 m<sup>3</sup>/s para captação de abastecimento d'água e projetos de irrigação.

**e) Usina Hidrelétrica de BOA ESPERANÇA**

Empresa: CHESF

Aproveitamento: Boa Esperança

Rio: Parnaíba

**Restrições de jusante:**

**Vazões máximas:**

Restrição - Vazão defluente de 1.600 m<sup>3</sup>/s.

A restrição da vazão defluente de 1.600 m<sup>3</sup>/s na usina de Boa Esperança vem a ser aquela utilizada para o cálculo de volumes de espera deste reservatório, tendo a mesma uma recorrência de apenas dois anos. Função das vazões incrementais que estejam ocorrendo nos trechos Boa Esperança/Floriano e Floriano/Teresina, esta restrição pode atingir valores mais elevados. Assim, na operação de controle de cheias deste reservatório, objetiva-se a manutenção de vazões inferiores a 2.400 m<sup>3</sup>/s em Floriano - PI e 3.000 m<sup>3</sup>/s em Teresina - PI de forma a evitar-se inundações nas referidas cidades. Observa-se também a influência do rio Poti, face ao mesmo desembocar no rio Parnaíba, na cidade de Teresina.

**Vazões mínimas:**

Restrição - Vazão defluente mínima de 240 m<sup>3</sup>/s.

Vazão defluente mínima de 240 m<sup>3</sup>/s para captação de abastecimento d'água no trecho jusante do reservatório até Teresina - PI.

## **f) Usinas Hidrelétricas de PEDRA e FUNIL**

Empresa: CHESF

Aproveitamentos: Pedra e Funil

Rio: Contas

### **Restrições de jusante:**

#### **Vazões máximas:**

Restrição de vazão máxima de 800 m<sup>3</sup>/s correspondente à vazão que não provoca danos em nenhuma cidade à jusante das usinas.

#### **Vazões mínimas:**

Restrição de vazão mínima de 6 m<sup>3</sup>/s para atendimento às restrições ambientais a jusante dos dois reservatórios.

## **8.2.2 - Sistema Norte**

### **a) Usina Hidrelétrica de SERRA DA MESA**

Empresa: Furnas

Aproveitamento: Serra da Mesa

Rio: Tocantins

### **Restrições de jusante:**

#### **Vazão mínima:**

Restrição de vazão mínima de 70 m<sup>3</sup>/s para evitar problemas ambientais.

#### **Taxa de variação máxima das defluências:**

Taxa de variação máxima de 2.500 m<sup>3</sup>/s/dia.

### **b) Usina Hidrelétrica de CANA BRAVA**

Empresa: TRACTEBEL

Aproveitamento: Cana Brava

Rio: Tocantins

### **Restrições de jusante:**



**Vazão mínima:**

Recomenda-se a manutenção de uma vazão mínima da ordem de 300 m<sup>3</sup>/s, esta vazão pode ser superior conforme a observação das condições locais para fins de proteção da Ictiofauna. Na impossibilidade de se ter geração mínima em pelo menos uma unidade geradora, o vertedouro deve ser aberto imediatamente para atender esta restrição.

**c) Usina Hidrelétrica de LAJEADO**

Empresa: INVESTCO S/A

Aproveitamento: Lajeado

Rio: Tocantins

**Restrições de montante:****Nível máximo:**

Restrição - Cota 212,30 m - Cidades próximas ao reservatório.

Esta limitação visa manter o nível adequado junto às cidades Palmas - TO e Porto Nacional - TO próximas ao reservatório.

**Nível mínimo:**

Restrição - Cota 211,50 m - Escada de peixes.

Esta limitação visa manter o nível adequado para atendimento à escada de peixe, cuja soleira da tomada d'água está na cota 210,50 m.

**Restrições de jusante:****Vazão mínima:**

Restrição - Vazão ambiental de 255 m<sup>3</sup>/s.

Segundo o projeto básico, este é o mínimo para atendimento às restrições ambientais a jusante do reservatório.

**d) Usina Hidrelétrica de TUCURUÍ**

Empresa: ELETRONORTE

Aproveitamento: Tucuruí

Rio: Tocantins

**Restrições de jusante:****Vazão máxima:**

Vazões variando de 2.500 a 6.800 m<sup>3</sup>/s, onde várias localidades estão passíveis de inundação.

**Vazões mínimas:**

Restrição - Vazão mínima de 2.000 m<sup>3</sup>/s.

Para garantir que as unidades operem dentro das condições de projeto é necessário um nível d'água mínimo de 3,96 m no canal de fuga, resultando para a UHE Tucuruí uma restrição de ordem operativa de vazão mínima defluente na usina de 2.000 m<sup>3</sup>/s. Esta defluência constitui também uma restrição de navegação.

**8.3 - GLOSSÁRIO**

1. AFLUÊNCIA: Quantidade de água que chega a um reservatório em determinada unidade de tempo;
2. ALTURA BRUTA: É a diferença do nível entre montante e jusante sem descontar as perdas hidráulicas;
3. ALTURA LÍQUIDA: É a diferença do nível entre montante e jusante considerando as perdas hidráulicas;
4. ALTURA NOMINAL: Altura definida na turbina ou gerador conforme as características do projeto;
5. AUTOPRODUTOR DE ENERGIA: É a parcela do mercado que produz sua própria energia;
6. CARGA FIRME: É a parcela do mercado que tem atendimento garantido;
7. CARGA ou DEMANDA: É o mercado de atendimento;

8. CARGA SECUNDÁRIA: É a parcela do mercado que poderá não ser atendida, ou seja, mercado não prioritário, podendo haver corte de carga;
9. COMPENSADOR SÍNCRONO: É um equipamento destinado para controlar a tensão, através do fornecimento e absorção de potência reativa;
10. DEFLUÊNCIA: Quantidade de água liberada de um reservatório em determinada unidade de tempo. A vazão defluente é igual à soma da vazão turbinada mais a vazão vertida;
11. ENERGIA ARMAZENADA: É a energia que pode ser gerada continuamente, condicionada ao armazenamento disponível, até o nível mínimo;
12. ENERGIA FIRME: É a máxima energia que pode ser gerada continuamente no período crítico;
13. ENERGIA GARANTIDA: É o montante de energia ofertada por um sistema, obtido através de um processo de simulação da operação do sistema interligado, com séries sintéticas de afluições e a um critério de risco definido e ponderado pelo custo marginal da operação;
14. ENERGIA VERTIDA NÃO TURBINÁVEL: Energia excedente, descarregada através de vertedouros quando a usina não apresenta capacidade de geração disponível;
15. ENERGIA VERTIDA TURBINÁVEL: Energia excedente, descarregada através de vertedouros quando a usina apresenta capacidade de geração disponível;
16. ENERGIA VERTIDA: É o somatório das energias vertidas turbináveis e não turbináveis de um aproveitamento ou conjunto de aproveitamentos;

17. FATOR DE PERDAS: É um índice que considera as perdas existentes no sistema de produção de energia;
18. INDISPONIBILIDADE PROGRAMADA (IP): É um índice em relação à potência total instalada que considera as paradas de máquinas programadas;
19. INTERCÂMBIO: São todos os suprimentos e/ou recebimentos de energia ou demanda, contratados entre empresas supridoras e/ou supridas;
20. MÁQUINAS DE BASE: São aquelas que proporcionam uma capacidade instalada suficiente para produzir a energia firme correspondente à usina;
21. MÉDIA DE LONGO TERMO: Valor médio da vazão natural afluyente ao longo do histórico de vazões;
22. PEQUENOS APROVEITAMENTOS: São usinas que, por suas características próprias, podem ser consideradas nos balanços de forma simplificada e em bloco;
23. PERÍODO CRÍTICO: Período de tempo correspondente à seqüência de vazões do histórico, em que o armazenamento do sistema vai de seu nível máximo ao seu nível mínimo, sem reenchimentos totais intermediários, no atendimento da energia firme do sistema;
24. POTÊNCIA EFETIVA: É a potência máxima que a máquina pode fornecer em regime contínuo de operação, levando-se em conta todas as limitações operativas;

25. POTÊNCIA GARANTIDA DE UMA USINA HIDRÁULICA: É o somatório das disponibilidades de potência das unidades geradoras da usina, levando-se em conta:

- a) Potência efetiva das unidades geradoras;
- b) Expansão do parque gerador;
- c) Perda de potência hidráulica devido à altura de queda;
- d) Perdas de potência devido à indisponibilidade forçada de unidades geradoras maiores ou iguais a 10 MW, considerando o índice estatístico TEIF (ver item 32);
- e) Reduções de disponibilidades devido a manutenções programadas de unidades geradoras;

26. POTÊNCIA GARANTIDA DE UMA USINA TÉRMICA: É o somatório das disponibilidades de potência das unidades componentes da usina, levando-se em conta:

- a) Potência efetiva das unidades geradoras;
- b) Expansão do parque gerador;
- c) Reduções de disponibilidades devido a manutenções programadas de unidades geradoras.

27. POTÊNCIA NOMINAL: É o valor de potência da máquina, informado pelo fabricante do equipamento;

28. PRODUTIVIDADE ESPECÍFICA: É a produtividade baseada na altura nominal, ou seja, aquela definida pelo projeto;

29. RENDIMENTO DE CADA MÁQUINA DO CONJUNTO: É a capacidade de transformação de energia baseada na queda líquida;

30. RESERVATÓRIO EQUIVALENTE: É o reservatório representativo do conjunto de reservatórios do sistema;

31. TAXA EQUIVALENTE DE INDISPONIBILIDADE FORÇADA (TEIF): É um índice em relação à potência total instalada que considera a probabilidade de parada de máquina;
32. TEMPO MÉDIO DE VIAGEM: É o tempo de deslocamento da água entre os aproveitamentos hidrelétricos;
33. VAZÃO DEFLUENTE MÁXIMA E MÍNIMA: São os valores limites máximos e mínimos médios em um intervalo de um dia;
34. VAZÃO MÉDIA DEFLUENTE DURANTE O PERÍODO CRÍTICO (ENERGÉTICO): Valor médio da vazão turbinada de uma usina capaz de gerar a energia firme da mesma ao longo do período crítico;
35. VAZÃO REGULARIZADA: Descarga constante que permite o deplecionamento total do reservatório ao longo do período crítico de vazões;
36. VAZÃO TURBINADA MÁXIMA INSTANTÂNEA: É o limite máximo da vazão turbinada instantânea;

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)