



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS

**ANÁLISE E SUGESTÕES PARA DIRETRIZES DE USO DAS
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ, SITUADA NO ESTADO
DA PARAÍBA**

TESE DE DOUTORADO

CÍCERO AURÉLIO GRANGEIRO LIMA

CAMPINA GRANDE
NOVEMBRO DE 2004

CÍCERO AURÉLIO GRANGEIRO LIMA

**ANÁLISE E SUGESTÕES PARA DIRETRIZES DE USO DAS
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ, SITUADA NO ESTADO
DA PARAÍBA**

**Tese submetida ao Programa de
Doutorado em Recursos Naturais como
requisito parcial para obtenção do título
de Doutor em Recursos Naturais.**

ORIENTADOR: WILSON FADLO CURI

**Campina Grande
novembro de 2004**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFCG

L732e Lima, Cícero Aurélio Grangeiro
2004 Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piancó, situada no Estado da Paraíba./ Cícero Aurélio Grangeiro Lima. – Campina Grande: UFCG, 2004.
285p.: il.

Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais)
/UFCG/CCT/DEC.
Inclui bibliografia.

1. Gestão 2. Operação integrada de reservatórios 3. Otimização de sistemas hídricos I. Título

CDU:556.18

CÍCERO AURÉLIO GRANGEIRO LIMA

ANÁLISE E SUGESTÕES PARA DIRETRIZES DE USO DAS DISPONIBILIDADES
HÍDRICAS SUPERFICIAIS DA BACIA HÍDRICAS DO RIO PIANCÓ, SITUADA NO
ESTADO DA PARAÍBA

APROVADA EM: 30/09/2004

BANCA EXAMINADORA


Dr. WILSON FADLO CURI

DEPARTAMENTO DE FÍSICA - DF
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG


Dr. ALAIN MARIE BERNARD PASSERAT DE SILANS

APOSENTADO - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – DEC
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB


Dr. FREDERICO FÁBIO MAUAD

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO - DHS
ESCOLA DE ENEGNHARIA DE SÃO CARLOS - EESC
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP


Dra. ROSIRES CATÃO CURI

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - DEC
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG


Dr. JOSÉ DANTAS NETO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - DEAg
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xxi
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	
OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO III	
DESCRIÇÃO DO SISTEMA	7
3.1 Caracterização física da bacia	7
3.1.1 Localização	7
3.1.2 Climatologia	7
3.1.3 Geologia	9
3.1.4 Pedologia	10
3.1.4.1 Capacidade de uso do solo	10
3.1.4.2 Exploração de uso do solo	11
3.1.5 Relevo e cobertura vegetal	12
3.2 Recursos hídricos	12
3.2.1 Hidrologia superficial	12
3.2.2 Hidrologia subterrânea	14

3.2.3	Infra-estrutura hídrica existente	14
3.2.4	Qualidade das águas	15
3.2.4.1	Abastecimento humano	16
3.2.4.2	Irrigação	18
3.2.5	Conflitos de uso da água	19
3.3	Aspectos sócio-econômicos	24
3.3.1	Divisão político-administrativa	24
3.3.2	População	24
3.3.3	Setores produtivos	24

CAPÍTULO IV

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26	
4.1	Introdução	26
4.2	Modelos de simulação	29
4.3	Modelos de otimização	32
4.3.1	Programação linear	33
4.3.2	Programação dinâmica	35
4.3.3	Programação não linear	37
4.4	Combinação de técnicas de simulação e de otimização	39
4.5	Sistemas integrados (Modelos de rede de fluxo)	40

CAPÍTULO V

METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO DO SISTEMA	43	
5.1	Considerações gerais	43
5.2	Caracterização hídrica do sistema	44
5.2.1	O sistema Coremas-Mãe D'Água	44

5.2.2	Os reservatórios Coremas e Mãe D'Água	45
5.2.3	Os tributários e os sub-sistemas	49
5.2.3.1	Tributário – 02 (Piancó)	49
5.2.3.2	Tributário – 03 (Emas)	50
5.2.3.3	Tributário – 04 (Área não controlada por reservatório)	50
5.3	Modelagem do sistema	51
5.3.1	Considerações gerais	51
5.3.2	Tributários e sub-sistemas	54
5.3.2.1	Tributário – 01 (Aguiar)	54
5.3.2.2	Tributário – 02 (Piancó)	55
5.3.2.2.1	Sub-sistema 01	55
5.3.2.2.2	Sub-sistema 02	56
5.3.2.2.3	Sub-sistema 03	57
5.3.2.3	Tributário – 03 (Emas)	58
5.3.2.4	Tributário – 04	59
5.3.3	Os reservatórios Coremas e Mãe D'Água	60
5.4	Os Modelos utilizados	62
5.4.1	Generalidades	62
5.4.2	O modelo ORNAP	62
5.4.2.1	Conceituações	62
5.4.2.2	Aspectos técnicos	63
5.4.2.2.1	Da agricultura irrigada	63
5.4.2.2.2	Dos reservatórios e seus componentes	67
5.4.2.2.3	De outros componentes	70
5.4.2.2.4	Análise de convergência da otimização	71

5.4.2.2.5	Fluxograma do modelo	72
5.4.3	O modelo MODSIM	72
5.4.3.1	O algoritmo out-of-kilter.....	74
5.4.3.2	Critérios de otimização	75
5.4.3.3	Não linearidade	75
5.4.3.4	Os componentes do sistema	76
5.4.3.5	Os estados hidrológicos	77
5.4.3.2	Demandas e direitos (prioridades)	78
5.4.4	O modelo SimCOMA	79
5.4.4.1	Balanço hídrico mensal	80
5.4.4.1.1	Reservatório Coremas	81
5.4.4.1.2	Reservatório Mãe D'Água	83
5.4.4.2	Transferência de água entre os reservatórios	85
5.4.5	Integração entre os modelos	87

CAPÍTULO VI

DADOS DO SISTEMA	89	
6.1	Considerações Gerais	89
6.2	Precipitação	89
6.3	Evaporação nos reservatórios	89
6.4	Vazões afluentes	90
6.5	Dados dos reservatórios	91
6.6	Demandas hídricas	91
6.6.1	Demandas atuais	93
6.6.1.1	Demandas de montante	93

6.6.1.1.1	Abastecimento humano	93
6.6.1.1.2	Irrigação	94
6.6.1.1.3	Piscicultura	98
6.6.1.2	Demandas de Jusante	100
6.6.2	Demandas futuras	103
6.6.2.1	Considerações gerais	103
6.6.2.2	Abastecimento humano	103
6.6.2.3	Irrigação	104
6.6.2.4	Dessedentação animal	105
6.6.2.4	Indústria	106

CAPÍTULO VII

ETAPAS, CENÁRIOS E SITUAÇÕES ESTUDADAS	107	
7.1	Considerações gerais	107
7.2	Etapa de diagnóstico	107
7.2.1	Cenário atual	108
7.2.1.1	Reservatórios, Sub-sistemas e Tributários	108
7.2.1.2	Sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água.....	110
7.2.2	Cenários idealizados	112
7.2.2.1	Reservatórios, Sub-sistemas e Tributários.....	113
7.2.2.2	Sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água.....	113
7.3	Etapa de planejamento	115
7.3.1	Reservatórios de montante	117
7.3.1.1	Grupo de reservatório por tipo de uso da água	117
7.3.1.2	Reservatório sem abastecimento	118

7.3.1.3	Reservatório com somente abastecimento	119
7.3.1.4	Reservatório com abastecimento e irrigação.....	120
7.3.2	Os Reservatórios Coremas-Mãe D'Água	121
7.3.2.1	O Sistema como um único reservatório	123
7.3.2.2	O Sistema como dois reservatórios	125
7.3.3	O sistema e a transposição de águas do rio São Francisco	127

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS E DISCUSSÃO	129	
8.1	Etapa de Diagnóstico	129
8.1.1	Cenário atual	129
8.1.1.1	Reservatórios, Sub-sistemas e Tributários	129
8.1.1.1.1	Caracterização hídrica individual dos reservatórios de montante	130
8.1.1.1.2	Caracterização hídrica dos reservatórios por classe de capacidade.....	134
8.1.1.1.3	Vazões fornecidas pelos sub-sistemas e pelos tributários	136
8.1.1.2	Os reservatórios Coremas e Mãe D'Água	137
8.1.1.2.1	Caracterização hídrica individual dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água	137
8.1.1.2.2	Análise do comportamento hídrico dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água	139
8.1.2	Cenários idealizados	150
8.1.2.1	Sem considerar irrigação de montante	151
8.1.2.1.1	Com relação ao padrão de afluência	152
8.1.2.1.2	Com relação às opções de retirada de água	153
8.1.2.1.3	Com relação às conclusões dos reservatórios	154

8.1.2.2	Considerando irrigação de montante	155
8.1.2.2.1	Perímetros ligados diretamente aos reservatórios ..	160
8.1.2.2.2	Perímetros com captação ao longo do rio	161
8.1.2.2.3	Influência das demandas dos perímetros sobre as disponibilidades hídricas do sistema. Coremas – Mãe D'Água	163
8.1.2.3	Vazões mínimas a serem oferecidas pelo tributário Piancó	166
8.1.2.3.1	– Importância do tributário Piancó para o sistema	166
8.1.2.3.2	– Percentual mínimo de afluência ao sistema Coremas- Mãe D'Água	167
8.1.3	Considerações finais	170
8.1.3.1	Caracterização hídrica do sistema	170
8.1.3.1.1	– Com relação ao sistema de montante	170
8.1.3.1.2	– Com relação ao sistema Coremas-Mãe D'Água	171
8.1.3.2	Atendimento as demandas	172
8.1.3.2.1	– Sistema de montante	172
8.1.3.2.2	– Sistema Coremas-Mãe D'Água	173
8.2	Etapa de Planejamento	174
8.2.1	Considerações gerais	174
8.2.2	Análise do sistema de montante	175
8.2.2.1	Os reservatórios por grupo de uso da água	175
8.2.2.1.1	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios	176
8.2.2.1.2	Probabilidades dos volumes finais serem Superiores ou iguais aos volumes finais	180
8.2.2.1.3	Probabilidades de atingirem seus volumes finais mínimos	185

8.2.2.2	Atendimento das demandas de montante	190
8.2.2.2.1	Demandas urbanas	191
8.2.2.2.2	Irrigação	195
8.2.2.3	Considerações finais	198
8.2.3	O sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água	199
8.2.3.1	Sustentabilidade hídrica do sistema	199
8.2.3.1.1	O sistema como um único reservatório	199
8.2.3.1.2	O sistema como dois reservatórios	208
8.2.3.1.3	Análises finais	213
8.2.3.2	Atendimento as demandas de jusante	215
8.2.3.2.1	Falhas isoladas	215
8.2.3.2.2	Falhas contínuas	222
8.2.4	O sistema com a transposição de águas do São Francisco	235
8.2.4.1	Considerações gerais	235
8.2.4.2	O sistema como um único reservatório	236
8.2.4.2.1	Curvas de permanência	236
8.2.4.2.2	Probabilidades dos volumes finais serem superiores ou iguais aos volumes finais	238
8.2.4.2.3	Probabilidades de atingirem seus volumes finais mínimos	238
8.2.4.3	O sistema como dois reservatórios	239
8.2.4.3.1	Curvas de permanência	240
8.2.4.3.2	Probabilidades dos volumes finais serem superiores ou iguais aos volumes finais	241
8.2.4.3.3	Probabilidades de atingirem seus volumes finais mínimos	242

8.2.5	Análise comparativa do sistema com e sem a transposição	242
8.2.5.1	Sustentabilidade hídrica	243
8.2.5.1.1	Curvas de permanência dos volumes	244
8.2.5.1.2	Probabilidades dos volumes finais serem superiores ou iguais aos volumes finais.....	247
8.2.5.1.3	Probabilidades de atingirem seus volumes finais mínimos	251
8.2.5.2	Atendimento as demandas de irrigação	253
8.2.5.2.1	Perímetro de irrigação Piancó.....	253
8.2.5.2.2	Perímetro de irrigação Várzeas de Sousa	255
8.2.6	Considerações finais	258

CAPÍTULO IX

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	260
9.1 Conclusões	260
9.2 Recomendações	265
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	267

RESUMO

O sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água, com capacidade total de $1,4 \text{ hm}^3$, está localizado na bacia hidrográfica do Rio Piancó, região semi-árida da Paraíba, e apresenta conflitos quanto ao gerenciamento da alocação dos recursos hídricos entre os diversos setores de seus múltiplos usos. Este sistema é responsável pelo abastecimento de diversas localidades, atividades de agricultura irrigada e piscicultura, sendo o único no Estado com uso para geração de energia, fornecendo, ainda, água para Rio Grande do Norte, principal ponto de conflito do sistema. A importância da gestão desse complexo sistema pode ser refletida na ação conjunta realizada pela Agência Nacional de Água (ANA), o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e representantes dos Governos dos dois estados envolvidos, na definição do Marco Regulatório da bacia hidrográfica Coremas-Açu, visando à elaboração de critérios, normas e procedimentos relativos ao uso desses recursos hídricos.

Este trabalho tem por objetivo fazer uma análise do uso das disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, operando 24 reservatórios de montante e seus usos, de forma integrada, visando subsidiar o planejamento de ações de uma política de gestão de águas para a bacia do Rio Piancó. Para tanto, foi analisado o comportamento hídrico do referido sistema no cenário atual e idealizados, com alterações no plano físico, operacional e hídrico deste sistema. Foi, também, considerado um aporte da vazão de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, advinda da transposição de águas do rio São Francisco. Na análise do comportamento hídrico do sistema foram utilizados três modelos hidrológicos conceituais, um deles, desenvolvido especialmente para simulação dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água.

Verificou-se que o conceito de vazão regularizável como parâmetro para estabelecimento de ações de planejamento não é recomendável para sistemas integrados, tendo em vista a sua variação em função da concepção hídrica do sistema, das intervenções na sua bacia de contribuição e operação dos reservatórios envolvidos. As demandas totais de irrigação de jusante do sistema não seriam possíveis de serem atendidas para o horizonte de planejamento de dois anos, na situação hídrica atual. Na avaliação dos benefícios advindo do incremento da vazão de transposição, a pesquisa revelou que o sistema Coremas-Mãe D'Água proporcionaria o atendimento das demandas de irrigação de montante e das demandas de jusante, no horizonte de planejamento estudado.

ABSTRACT

The Coremas-Mãe D'Água reservoirs system, with capacity of 1.4 hm^3 , is located in the Piancó river basin, within the semiarid region of Paraíba state, and presents water allocation management conflicts among its multiple users. This system is responsible to meet the demands of several urban water supply, irrigation and fishing activities, hydropower energy generation and flow regularization to Rio Grande de Norte state, which is the main conflict. The management importance of this complex system is reflected by the Agencia Nacional de Água (ANA), the Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) and the two states representatives joint action to establish the Coremas-Açu river basins Regulatory Mark to define criteria, norms and ways to deal with its water use conflicts.

The aim of this work is to analyze the system's water availability, including the operation of 24 upstream reservoirs and their use in an integrated way, to provide information to help establishing management policies to the Piancó river basin system. The system was analyzed for the nowadays physical, operational and hydrologic behavior scenario and created ones, including a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ São Francisco river water diversion. Three hydrologic conceptual models were used, being one of them specially developed to simulate the Coremas-Mãe D'Água behavior.

The regulated flow concept as a parameter to establish water uses and operating actions is not recommended to integrated systems due its variation according to river basin upstream interventions, reservoir operations and conceptual modeling. The total downstream irrigation demand requirement was not met for two years planning horizon with the actual situation. The São Francisco water diversion support would give to the Coremas-Mãe D'Água system the capability to meet all the required irrigation demand for the two years planned time horizon.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
Figura 3.1	Localização da Bacia hidrográfica do Rio Piancó	8
Figura 3.2	O domínio das águas na bacia do Piancó	21
Figura 5.3	Escopo geral para o estudo do sistema Coremas-Mãe D'Água	44
Figura 5.4	Esquema do Sistema Coremas-Mãe D'Água	45
Figura 5.5	Documento fotográfico do sistema Coremas-Mãe D'Água	46
Figura 5.6	Documento fotográfico da usina de Coremas	47
Figura 5.7	Documento fotográfico do perímetro Várzeas de Sousa e Canal da Redenção	48
Figura 5.8	Tributários e sub-sistemas da bacia do rio Piancó	49
Figura 5.9	Estrutura do Sistema para simulação	52
Figura 5.10	Representação da dinâmica do sistema Coremas-Mãe D'Água	54
Figura 5.11	Esquema para simulação do Tributário Aguiar no modelo MODSIM P32	55
Figura 5.12	Esquema para simulação do Sub-Sistema-01 no modelo MODSIM P32	56
Figura 5.13	Esquema para simulação do Sub-Sistema-02 no modelo MODSIM P32	57
Figura 5.14	Esquema para simulação do Sub-Sistema-03 no modelo MODSIM P32	58
Figura 5.15	Esquema para simulação do Tributário Emas no modelo MODSIM P32	61
Figura 5.16	Representação do sistema Coremas-Mãe D'Água para a simulação	64
Figura 5.17	Esquema do modelo ORNAP	73
Figura 5.18	Situações hídricas possíveis no sistema Coremas-Mãe D'Água	81
Figura 5.19	Esquema de transferência de água entre os reservatórios	86
Figura 5.20	Fluxograma de integralização e dados dos modelos usados	88
Figura 6.21	Estrutura do modelo MODHAC	92
Figura 6.22	Distribuição das demandas por uso e por trecho	101
Figura 7.23	Cenários e situações idealizadas para etapa de Diagnóstico	109
Figura 7.24	Estruturação física e hídrica para a análise do comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água	111
Figura 7.25	Cenários e situações idealizadas para etapa de Planejamento	116

Figura 7.26	Estados Hidrológicos para os reservatórios sem abastecimento	118
Figura 7.27	Estados Hidrológicos para os reservatórios com somente abastecimento	119
Figura 7.28	Estados Hidrológicos para os reservatórios com abastecimento e irrigação	121
Figura 7.29	Esquema para simulação do sistema como único reservatório no MODSIM P32	123
Figura 7.30	Estados Hidrológicos para o Sistema Coremas-Mãe D'Água	124
Figura 7.31	Esquema para simulação do sistema Coremas-Mãe D'Água como dois reservatórios	126
Figura 7.32	Esquema para o sistema operando os dois reservatórios sem a transposição no MODSIM P32	126
Figura 7.33	Esquema para simulação do sistema como único reservatório com a transposição no MODSIM P32	128
Figura 7.34	Esquema para o sistema operando os dois reservatórios com a transposição no MODSIM P32	128
Figura 8.35	Capacidade máxima dos reservatórios de montante versus volumes afluente	132
Figura 8.36	Capacidade dos reservatórios de montante versus volumes evaporados	133
Figura 8.37	Capacidade dos reservatórios de montante versus rendimento hídrico	134
Figura 8.38	Índices por classe de reservatórios de montante	136
Figura 8.39	Esquemas para as simulações dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água	138
Figura 8.40	Vazões regularizáveis por rebaixamento do canal de ligação para os reservatórios individualizados e para o sistema Coremas e Mãe D'Água	149
Figura 8.41	Vazões regularizáveis por rebaixamento do canal de ligação para o sistema Coremas-Mãe D'Água	149
Figura 8.42	Volumes nos reservatórios e no sistema sem considerar o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 1ª opção de retirada	156
Figura 8.43	Volumes nos reservatórios e no sistema sem considerar o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 2ª opção de retirada	156
Figura 8.44	Volumes nos reservatórios e no sistema sem o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 1ª opção de retirada	157
Figura 8.45	Volumes nos reservatórios e no sistema sem o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 2ª opção de retirada	157

Figura 8.46	Volumes nos reservatórios e no sistema considerando o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 1ª opção de retirada	158
Figura 8.47	Volumes nos reservatórios e no sistema considerando o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 2ª opção de retirada	158
Figura 8.48	Volumes nos reservatórios e no sistema com o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 1ª opção de retirada	159
Figura 8.49	Volumes nos reservatórios e no sistema com o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 2ª opção de retirada	159
Figura 8.50	Distribuições dos déficits hídricos mensais e totais nos perímetros Piancó II, III e Brotas	162
Figura 8.51	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-01 no mês de julho no 1º ano do horizonte de planejamento	177
Figura 8.52	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-01 no mês de julho, no 2º ano do horizonte de planejamento	177
Figura 8.53	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-02 no mês de julho para o 1º ano do horizonte de planejamento	178
Figura 8.54	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-02 no mês de julho para o 2º ano do horizonte de planejamento	178
Figura 8.55	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-03 no mês de julho para o 1º ano do horizonte de planejamento	179
Figura 8.56	Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-03 no mês de julho para o 2º ano do horizonte de planejamento	179
Figura 8.57	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-01, no 1º ano do horizonte de simulação	181
Figura 8.58	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-01, no 2º ano de horizonte de simulação	181
Figura 8.59	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-02, no 1º ano do horizonte de planejamento	184
Figura 8.60	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-02, no 2º ano do horizonte de planejamento	184
Figura 8.61	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-03, no 1º ano de horizonte de planejamento	186

Figura 8.62	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-03, no 2º ano de horizonte de planejamento	186
Figura 8.63	Probabilidades dos volumes dos reservatórios do Grupo-01 atingirem o nível mínimo no 1º ano do horizonte de planejamento	187
Figura 8.64	Probabilidades dos volumes dos reservatórios do Grupo-01 atingirem o nível mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento	188
Figura 8.65	Probabilidades dos volumes dos reservatórios do Grupo-02 atingirem o nível mínimo no 1º ano do horizonte de planejamento	189
Figura 8.66	Probabilidades dos volumes dos reservatórios do Grupo-02 atingirem o nível mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento	190
Figura 8.67	Falhas isoladas observadas nos reservatórios Catolé e Jatobá II para as demandas urbanas para os dois anos do horizonte de planejamento	192
Figura 8.68	Falhas consecutivas observadas nos reservatórios Catolé e Jatobá II para as demandas urbanas para os dois anos do horizonte de planejamento	192
Figura 8.69	Percentuais de probabilidade dos indicadores das falhas observados para o reservatório Catolé no 1º ano do horizonte de planejamento	193
Figura 8.70	Percentuais de probabilidade dos indicadores das falhas observados para o reservatório Jatobá II no 1º ano do horizonte de planejamento	193
Figura 8.71	Percentuais de probabilidade dos indicadores das falhas observados para o reservatório Jatobá II no 2º ano do horizonte de planejamento	194
Figura 8.72	Percentuais das falhas isoladas para o perímetro Piancó no 1º ano e no 2º ano do horizonte de planejamento	197
Figura 8.73	Percentuais dos indicadores de falhas consecutivas para o perímetro Piancó no 2º ano do horizonte de planejamento	197
Figura 8.74	Percentuais de duração das falhas consecutivas para o perímetro Piancó no 2º anos do horizonte de planejamento	197
Figura 8.75	Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 100% da capacidade	202
Figura 8.76	Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 90% da capacidade	203
Figura 8.77	Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 80% da capacidade	203

Figura 8.78	Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 70% da capacidade	203
Figura 8.79	Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 60% da capacidade	204
Figura 8.80	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial no sistema para o 1º ano de planejamento	205
Figura 8.81	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial no sistema para o 2º ano de planejamento	205
Figura 8.82	Probabilidades dos volumes do sistema atingirem o nível mínimo para o 1º ano do horizonte de planejamento, em função dos volumes iniciais	207
Figura 8.83	Probabilidades dos volumes do sistema atingirem o nível mínimo para o 2º ano do horizonte de planejamento, em função dos volumes iniciais	207
Figura 8.84	Curvas de permanência dos volumes do reservatório Coremas para o mês de julho no 1º e no 2º ano de planejamento	209
Figura 8.85	Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água para o mês de julho no 1º e no 2º anos de planejamento	209
Figura 8.86	Probabilidades dos volumes no reservatório Coremas para o 1º e o 2º anos de planejamento	211
Figura 8.87	Probabilidades dos volumes no reservatório Mãe D'Água o 1º e no 2º anos de planejamento	211
Figura 8.88	Curvas de probabilidades de volumes mensais iguais ou superiores ao volume inicial nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água no 1º ano de planejamento	211
Figura 8.89	Curvas de probabilidades de volumes mensais iguais ou superiores ao volume inicial nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água no 2º ano de planejamento	212
Figura 8.90	Probabilidades dos volumes dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água atingirem o nível mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento	213
Figura 8.91	Probabilidades de falhas isoladas por demanda para o 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 100% da capacidade	218
Figura 8.92	Probabilidades de falhas isoladas para a irrigação para o 1º e 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 90% da capacidade	218

Figura 8.93	Probabilidades de falhas isoladas de irrigação para o 1º e 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 80% da capacidade	218
Figura 8.94	Probabilidades de falhas isoladas para as demandas de abastecimento e piscicultura para o 2º ano de planejamento para volume inicial do sistema igual a 70% da capacidade	219
Figura 8.95	Probabilidades de falhas isoladas para as demandas de abastecimento piscicultura para o 1º e 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 60% da capacidade	219
Figura 8.96	Falhas isoladas no atendimento a demandas de irrigação	221
Figura 8.97	Falhas contínuas no atendimento a demanda de irrigação no 1º ano de planejamento	224
Figura 8.98	Falhas contínuas no atendimento a demanda de irrigação no 2º ano de planejamento	224
Figura 8.99	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 100% da capacidade	227
Figura 8.100	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação no 1º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 90% da capacidade	227
Figura 8.101	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 90% da capacidade	227
Figura 8.102	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação no 1º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade	228
Figura 8.103	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade	228
Figura 8.104	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de abastecimento, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 60% da capacidade	229

Figura 8.105	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de piscicultura, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 60% da capacidade	229
Figura 8.106	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 100% da capacidade	229
Figura 8.107	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 90% da capacidade	230
Figura 8.108	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 1º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade	230
Figura 8.109	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade	230
Figura 8.110	Distribuição percentual de falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação de jusante e das Várzeas de Sousa, no 1º e no 2º ano de planejamento	234
Figura 8.111	Distribuição percentual de falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação de jusante, no 2º ano de planejamento	234
Figura 8.112	Distribuição percentual de falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação das Várzeas de Sousa, no 2º ano de planejamento	234
Figura 8.113	Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação das Várzeas de Sousa, no 2º ano de planejamento	235
Figura 8.114	Transposição de águas do Rio São Francisco, com os dois eixos de entradas no Estado da Paraíba	237
Figura 8.115	Curvas de permanência do sistema como único reservatório para o volume inicial igual a 60% da capacidade no 1º e no 2º ano de planejamento	238
Figura 8.116	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no sistema no 1º e no 2º ano de planejamento	239
Figura 8.117	Probabilidades do sistema como único reservatório atingir o volume mínimo no 1º e no 2º ano de planejamento	239

Figura 8.118	Curvas de permanência dos volumes finais no reservatório Coremas para o mês de julho no 1º e no 2º ano de planejamento	240
Figura 8.119	Curvas de permanência dos volumes finais no reservatório Mãe D'Água para o mês de julho no 1º e no 2º ano de planejamento	240
Figura 8.120	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Coremas para o volume inicial 373,0 hm ³ , no 1º e no 2º ano de planejamento	243
Figura 8.121	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Mãe D'Água para o volume inicial 283,7 hm ³ , no 1º e no 2º ano de planejamento	243
Figura 8.122	Curvas de permanência dos volumes no sistema, com e sem a transposição para o mês de julho no 1º ano de planejamento	244
Figura 8.123	Curvas de permanência dos volumes no sistema, com e sem a transposição para o mês de julho no 2º ano de planejamento	244
Figura 8.124	Curvas de permanência dos volumes no reservatório Coremas, com e sem a transposição para o mês de julho no 1º ano de planejamento	245
Figura 8.125	Curvas de permanência dos volumes no reservatório Coremas, com e sem a transposição para o mês de julho no 2º ano de planejamento	246
Figura 8.126	Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água, com e sem a transposição para o mês de julho no 1º ano de planejamento	246
Figura 8.127	Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água, com e sem a transposição para o mês de julho no 2º ano de planejamento	246
Figura 8.128	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no sistema no 1º ano de planejamento	248
Figura 8.129	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no sistema, no 2º ano de planejamento	248
Figura 8.130	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Coremas no 1º ano de planejamento	249
Figura 8.131	– Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Coremas no 2º ano de planejamento	249
Figura 8.132	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Mãe D'Água no 1º ano de planejamento	250
Figura 8.133	Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume	

	inicial no reservatório Mãe D'Água no 2º ano de planejamento	250
Figura 8.134	Probabilidades de ocorrência de volumes mínimos no sistema no 2º ano de planejamento, com e sem a transposição	251
Figura 8.135	Probabilidades de ocorrência de volumes mínimos no reservatório Mãe D'Água no 2º ano de planejamento, com e sem a transposição	252
Figura 8.136	Probabilidades de falha isoladas para atendimento do Perímetro Piancó, com e sem a transposição no 1º e no 2º ano de planejamento	254
Figura 8.137	– Probabilidades de falha contínuas para atendimento do Perímetro Piancó, com e sem a transposição no 2º ano de planejamento	254
Figura 8.138	– Probabilidades de falha por duração para atendimento do Perímetro Piancó, com e sem a transposição no 2º ano de planejamento	254
Figura 8.139	Probabilidades de falha isoladas no 1º ano de planejamento para atendimento do Perímetro Várzeas de Sousa com e sem a transposição	256
Figura 8.140	– Probabilidades de duração das falhas consecutivas no 2º ano de planejamento para atendimento do Perímetro Várzeas de Sousa com e sem a transposição	256
Figura 8.141	– Probabilidades de duração das falhas consecutivas no 2º ano de planejamento para atendimento do Perímetro Várzeas de Sousa com e sem a transposição	256
Figura 8.142	Probabilidades de falha isoladas no 1º e 2º ano de planejamento para atendimento do Perímetro Várzeas de Sousa com e sem a transposição	257
Figura 8.143	Probabilidades de duração das falhas consecutivas no 2º ano de Planejamento para atendimento do Perímetro Várzeas de Sousa com e sem a transposição	258

LISTA DE TABELAS

Tabela		Pág.
Tabela 3.1	Valores médios mensais de temperatura, evaporação e precipitação observados no posto de Coremas	9
Tabela 3.2	Resumo das classes de capacidade de uso do solo na bacia	11
Tabela 3.3	Resumo das classes de uso do solo na bacia	11
Tabela 3.4	Distribuição dos açudes por ordem de classificação dos cursos d'água	16
Tabela 3.5	Parâmetros de qualidade da água de açudes utilizados para abastecimento público na bacia do Rio Piancó	17
Tabela 3.6	Análise físico-química da água de grandes açudes da bacia do Rio Piancó para fins de irrigação	20
Tabela 5.7	As áreas de contribuição dos tributários e respectivos percentuais	50
Tabela 5.8	Dados técnicos dos reservatórios do Tributário Aguiar	55
Tabela 5.9	Dados técnicos dos reservatórios do Sub-Sistema-01	56
Tabela 5.10	Dados técnicos dos reservatórios do Sub-Sistema-02	57
Tabela 5.11	Dados técnicos dos reservatórios do Sub-Sistema-03	58
Tabela 5.12	Dados técnicos dos reservatórios do Tributário Emas	59
Tabela 6.13	Reservatórios e postos pluviométricos utilizados nas simulações	90
Tabela 6.14	Dados de evaporação média mensal do Tanque Classe A	90
Tabela 6.15	Dados dos parâmetros calibrados para o posto fluviométrico Piancó	92
Tabela 6.16	Dados dos reservatórios estudados	93
Tabela 6.17	Demandas hídricas para abastecimento urbano por reservatório estudado	94
Tabela 6.18	Principais características técnicas dos projetos de irrigação	95
Tabela 6.19	Parâmetros médios adotados para as culturas temporárias, perenes e semi-perenes	96
Tabela 6.20	Distribuição dos coeficientes mensais de cultivo das culturas (Kc)	97
Tabela 6.21	Dados dos sistemas de irrigação propostos por cultura	97
Tabela 6.22	Demandas mensais dos perímetros irrigados a montante do sistema	99
Tabela 6.23	Demanda por tipo de uso da água em território paraibano (Ano 2003)	101
Tabela 6.24	Demandas hídricas para o horizonte de planejamento (ano 2.023)	106
Tabela 7.25	Volumes nos reservatórios sem abastecimento	119

Tabela 7.26	Volumes nos reservatórios com somente abastecimento	120
Tabela 7.27	Volumes nos reservatórios com abastecimento e irrigação	121
Tabela 7.28	Volumes no sistema Coremas-Mãe D'Água	124
Tabela 7.29	Prioridades de atendimento das demandas por estado hidrológico do sistema	124
TABELA 7.30	Prioridades de atendimento das demandas por estado hidrológico do sistema	127
Tabela 8.31	Caracterização hídrica e índices associados com os reservatórios de montante	131
Tabela 8.32	Valores totais de capacidade, afluência e vazão regularizável dos Reservatórios	134
Tabela 8.33	Valores característicos e índices médios por classe de reservatórios	135
Tabela 8.34	Vazões médias fornecidas pelos tributários e sub-sistemas (SS) ao sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água (SCM)	137
Tabela 8.35	Valores característicos e índices médios dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água	138
Tabela 8.36	Vazões máximas regularizáveis, volumes médios evaporados e volumes finais do sistema Coremas-Mãe D'Água	141
Tabela 8.37	Influência dos vertimentos dos reservatórios de montante sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água	141
Tabela 8.38	Valores médios dos índices associados com o sistema Coremas-Mãe D'Água	141
Tabela 8.39	Vazões regularizáveis (m ³ /s) pelo sistema Coremas-Mãe D'Água por cenários idealizados	152
Tabela 8.40	Perdas de vazões regularizáveis do sistema não considerando o tributário Piancó no padrão de afluência.	153
Tabela 8.41	Ganho de vazão regularizável do sistema em função do padrão de afluência, das conclusões dos reservatórios de montante e das opções de retirada de água	154
Tabela 8.42	Perdas de vazões regularizáveis do sistema em função padrão de afluência e das opções de operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'água	154
Tabela 8.43	Garantias de suprimento das demandas pelo reservatório Poço Redondo	160

Tabela 8.44	Dados de vazões médias fornecidas, confiabilidades, vulnerabilidades e resiliências otidos para os perímetros Piancó II, III e Brotas	162
Tabela 8.45	Distribuição dos déficits hídricos mensais nos perímetros Piancó II, III e Brotas	162
Tabela 8.46	Vazões regularizáveis pelo sistema Coremas-Mãe D'Água	164
Tabela 8.47	Perdas de vazões regularizáveis pelo sistema Coremas-Mãe D'Água	164
Tabela 8.48	Vazões regularizáveis pelo sistema sem o tributário Piancó, segundo a opção e das cotas mínimas de operação dos reservatórios	167
Tabela 8.49	Perdas de vazões regularizáveis pelo sistema sem o tributário Piancó, segundo a opção e das cotas mínimas de operação dos reservatórios	167
Tabela 8.50	Vazões e volumes médios mensais fornecidos pelo tributário Piancó ao sistema Coremas-Mãe D'Água	168
Tabela 8.51	Vazões regularizáveis pelo sistema Coremas-MãeD'Água em função do percentual de ativação do potencial do tributário Piancó	169
Tabela 8.52	Percentuais de ativação da potencialidade do tributário Piancó e os índices de confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência do sistema Coremas Mãe D'Água	169
Tabela 8.53	Probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais ao volumes iniciais Para os reservatórios sem abastecimento	181
Tabela 8.54	Probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais ao volumes iniciais para os reservatórios com somente abastecimento	183
Tabela 8.55	Probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais ao volumes iniciais para os reservatórios com abastecimento e irrigação	185
Tabela 8.56	Custos aplicados ao atendimento das demandas em função do volume inicial do sistema Coremas-Mãe D'Água	216
Tabela 8.57	Falhas isoladas mensais para o atendimento da demanda de abastecimento por volume inicial do sistema, no 1º e no 2º ano de planejamento	217
Tabela 8.58	Falhas isoladas mensais para o atendimento da demanda de piscicultura por volume inicial do sistema, no 1º e no 2º ano de planejamento	217
Tabela 8.59	Falhas isoladas mensais para o atendimento da demanda de irrigação por volume inicial do sistema, no 1º e no 2º ano de planejamento	217
Tabela 8.60	Falhas isoladas no atendimento as demandas de jusante por mês	221

Tabela 8.61	Falhas contínuas no atendimento a demanda de abastecimento por mês e por volume inicial do sistema Coremas-Mãe D'Água	223
Tabela 8.62	Falhas contínuas no atendimento a demanda de piscicultura por mês e por volume inicial do sistema Coremas-Mãe D'Água	223
Tabela 8.63	Vazões máximas fornecidas pelo sistema para a irrigação em função do volume inicial	224
Tabela 8.64	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de abastecimento, em função do volume inicial do sistema	226
Tabela 8.65	Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de piscicultura, em função do volume inicial do sistema	226

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A alocação e o gerenciamento dos recursos hídricos para os usos múltiplos envolvem conflitos entre os diversos setores de interesse. O mundo enfrenta hoje, uma série crise relacionada com a questão da água, não somente pela má distribuição espacial e temporal das precipitações, mas, fundamentalmente, pela falta de um gerenciamento adequado, principalmente em regiões onde existe escassez desses recursos. O aumento da população e a ocupação das bacias hidrográficas de modo não planejado, sem a devida preocupação com o Meio Ambiente, causaram a degradação da água. Segundo Evaluación (1997), todos esses fatores estão debilitando uma das principais bases de recursos sobre a qual se edifica a sociedade humana.

Atualmente, em escala mundial, o consumo de água tem crescido mais que o dobro do aumento populacional e, em algumas regiões, já é notória a escassez crônica de recursos hídricos, estimando-se que cerca de 25.000 pessoas morrem por dia devido à escassez, a contaminação ou manejo inadequado das águas, segundo dados da OEA, 1996.

A diversificação do uso da água e o conseqüente aumento da demanda fez surgir o problema de demandas conflitantes. Segundo Lanna (1997, p.21), estes conflitos podem ser: conflitos de destinação de uso e conflitos de disponibilidades quantitativas e/ou qualitativas. Um processo privilegiado para dirimir esses conflitos é a negociação. Entretanto, é preciso o conhecimento do impacto causado pelas diversas alternativas e os benefícios associados às mesmas.

A sustentabilidade, o planejamento e a gestão devem ser discutidos dentro do contexto de desenvolvimento sustentável, onde o atendimento das aspirações da população atual não venham a comprometer a capacidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades, principalmente nas regiões semi-áridas, como é o caso do Nordeste brasileiro, onde o uso racional e otimizado dos recursos hídricos passa a ser imprescindível, face às peculiaridades climáticas e ambientais, que condicionam as atividades humanas e o desenvolvimento social da região (VIEIRA, 1996).

A prática mais utilizada nessa região, para atenuar os problemas de escassez de água, é a construção de açudes. Entretanto, verifica-se na prática que essa política não funciona, devido principalmente: aos grandes investimentos para implantação dessas obras, associados aos altos custos com desapropriações e a relocação da população, sem contar que algumas bacias

hidrográficas já se encontram no seu limite de disponibilidade hídrica superficial. Na Paraíba pode-se citar como um exemplo de intervenções em bacias hidrográficas, sem o devido planejamento integrado dos recursos hídricos, o açude Sumé, situado na região mais carente em termos desses recursos, onde a implantação de um reservatório à montante, condenou o mesmo a não mais acumular água suficiente para atender a demanda hídrica da região. Diante desse e de outros fatos, o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos passam a ter importância fundamental, haja visto, a criação da Lei das Águas do Governo Federal (Lei Nº 9433/97) que estabeleceu diretrizes para o gerenciamento e planejamento das ações para os usos dos recursos hídricos, de modo a proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação desses recursos, dentro de uma política participativa e descentralizada, envolvendo governo e sociedade.

O Estado da Paraíba tem cerca de 90% do seu território situado na região semi-árida do Nordeste, sobre base eminentemente cristalina, com grande variabilidade temporal e espacial das chuvas, variando entre 300 mm anuais na região do Cariri e 1600mm na região Litorânea do Estado. Essa caracterização hidroclimática traz sérios problemas relacionados com a questão do gerenciamento das suas disponibilidades para atendimento das demandas das diversas microrregiões do Estado.

A bacia hidrográfica do Rio Piancó, foco do desenvolvimento deste projeto de estudo está situada no Sertão paraibano, região semi-árida do Estado e é uma das bacias de maior conflito de uso das águas. Nela está inserida a maior reserva hídrica, formada por dois reservatórios interligados: o Sistema Coremas - Mãe D'Água, com capacidade para acumular 1,358 bilhões de metros cúbicos. Neste sistema são observados os principais usos da água: abastecimento, irrigação, piscicultura, geração de energia, lazer e perenização de rio. O gerenciamento desse sistema é bastante complexo, envolvendo 24 reservatórios de montante, com abastecimento de vários municípios e 6 perímetros de irrigação, com uma área potencial de 4.500 ha. Esse sistema atende a diversos usos de jusante, dentre eles: geração de energia, perenização do Rio Piancó (parte da qual representa a demanda hídrica requerida para o estado do Rio Grande do Norte), abastecimento do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, sistema adutor de Coremas/Sabugi, (que abastece 17 municípios) e demandas de irrigação à jusante do sistema.

O primeiro grande conflito está relacionado com a questão do domínio das águas. A montante do sistema, o domínio é do Estado, envolvendo toda a água retida nos 24 reservatórios de montante e em circulação pelos rios e riachos. A água retida no lago formado pelos reservatórios Coremas-Mãe D'Água é de domínio da União, visto que as barragens foram construídas pelo DNOCS e, neste caso, cabe ao Governo Federal legislar sobre uso dessas águas

desse sistema. A água que é liberada pelo sistema, entre os reservatórios até a entrada do rio Piancó no Rio Piranhas, volta a ser de domínio do Estado. Esta região é considerada, do ponto de vista da gestão, como a região crítica do sistema, pois nesta está contida a demanda hídrica para o vizinho estado do Rio Grande do Norte, com o qual tem-se constante conflito com relação a vazão requerida pelo referido estado. Na região onde o rio Piancó deságua no rio Piranhas até sua foz, o domínio volta a ser da União.

Diante do exposto, é notória a complexidade do gerenciamento hídrico do referido sistema, em face das constantes mudanças do domínio das águas, onde os interesses e os objetivos são diferenciados em função do órgão de gestão. O grande conflito está em encontrar o gerenciamento capaz de atender as demandas de montante e jusante desse sistema, visto que, o domínio passa pelas esferas estadual e federal, envolvendo interesse de outro estado da federação.

Outro ponto de conflito de uso de jusante, talvez o mais polêmico, está relacionado com o atendimento das demandas hídricas para irrigação de 5.000 ha do perímetro Várzeas de Sousa. Neste perímetro foram investidos, pelos governos Federal e Estadual, cerca de 51,5 milhões de reais, incluída a construção de 37 km do Canal da Redenção que irá conduzir uma vazão máxima de 4,0 m³/s do reservatório Mãe D'Água até o perímetro.

Para equacionar tais conflitos e tentar resolvê-los foi feito um esforço conjunto entre a Agência Nacional de Água (ANA), o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e os órgãos gestores dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte na elaboração de um documento, denominado de Marco Regulatório, com objetivo de promover a gestão integrada e participativa do rio Piranhas-Açu, visando a elaboração de critérios, normas e procedimentos relativos ao uso dos seus recursos.

Embora o esforço desses órgãos para a elaboração do referido documento tenha sido um importante passo para gerenciamento do conflito, o enfoque pode ser questionado, visto que, houve preocupação, por parte dos órgãos envolvidos, com as demandas entorno do lago e de jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água, cujo suprimento seria através da vazão regularizável para uma garantia de 100%. A grande crítica, que pode ser feita ao procedimento de elaboração do citado documento, está relacionada com o não envolvimento da parte a montante. As intervenções possíveis a montante desse sistema, tais como: conclusão ou construção de reservatórios e implantação dos perímetros irrigados como também, a operação dos reservatórios de montante, interferirão nas suas disponibilidades hídricas e, conseqüentemente, no atendimento as demandas de jusante.

Neste trabalho serão avaliados os impactos dessas ações, através das análises dos diversos cenários e situações idealizadas pelo estudo sobre as disponibilidades hídricas dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, visando, primeiramente, o entendimento do comportamento hídrico e, no segundo momento, à formulação de propostas alternativas para o uso desses recursos para a minimização dos conflitos para atendimento das demandas de montante e de jusante.

Para esta bacia estava prevista, inicialmente, uma vazão de 10 m³/s, advinda da transposição de águas do rio São Francisco, eixo Norte, onde o sistema Coremas-Mãe D'Água seria utilizado como corpo receptor do referido aporte. Entretanto, concepções posteriores redirecionaram a entrada desse eixo para a bacia do Alto Piranhas, não estando no escopo deste trabalho a discussão sobre as razões dessa mudança. Entretanto, foi também objeto deste estudo a análise sobre os benefícios hídricos e financeiros advindos com a transposição de águas do rio São Francisco, caso esta se realizasse pela bacia hidrográfica do rio Piancó.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 – OBJETIVO GERAL

O trabalho tem por objetivo geral fazer uma análise e propor sugestões para estabelecimento de diretrizes de uso das disponibilidades hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó de forma integrada e sustentável, visando subsidiar o planejamento de ações de uma política de gestão de águas para a bacia do Rio Piancó.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos, podem ser citados:

- Verificar a viabilidade de implantação e ampliação dos perímetros irrigados de montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água e avaliar suas interferências sobre as disponibilidades hídricas do Sistema;
- Avaliar os percentuais de contribuição dos principais tributários do sistema, em particular do tributário Piancó, sobre as disponibilidades hídricas dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água;
- Avaliar o comportamento hídrico do Sistema quando submetido a diversos cenários operacionais, tais como: padrão de afluência, opção de retirada de água e com as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas;
- Avaliar as influências dos diferentes cenários operacionais no desempenho do sistema: individualizado por reservatórios, por sub-sistema de reservatórios e também, quando submetido às variações de seus volumes iniciais;
- Avaliar os efeitos do rebaixamento do canal de ligação entre os reservatórios sobre a disponibilidade do sistema Coremas – Mãe D'Água;

- Avaliar a vazão máxima regularizável do sistema Coremas-Mãe D'Água em função da concepção hídrica e da transferência de água entre estes;
- Avaliar os benefícios financeiros advindos da atividade de agricultura dos perímetros de montante, quanto considerada a irrigação da área potencial;
- Estudar o comportamento hídrico do sistema através de uma política operacional, com a adoção de estados hidrológicos, prioridades de atendimento e volumes metas para os reservatórios;
- Verificar a adequação de modelos de suporte a decisão, em especial, o modelo MODSIM, à análise de sistemas de recursos hídricos; e
- Avaliar o comportamento hídrico do sistema e os benefícios trazidos com o incremento da vazão de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, advinda da transposição de águas do rio São Francisco para a bacia do rio Piancó.

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

3.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA

3.1.1 – LOCALIZAÇÃO

A bacia do rio Piancó corresponde a uma das sete sub-bacias do Rio Piranhas em território paraibano. Localiza-se no Sudoeste do Estado da Paraíba, entre os paralelos 6^o43'51'' e 7^o58'15'' Sul e meridianos 37^o27'41'' e 38^o42'49'' a Oeste de Greenwich. Limita-se a Oeste com o estado do Ceará, ao Sul com o estado de Pernambuco, ao Norte com as sub-bacias do Alto e Médio Piranhas e ao Leste com a sub-bacia do Rio Espinharas (Figura 3.1).

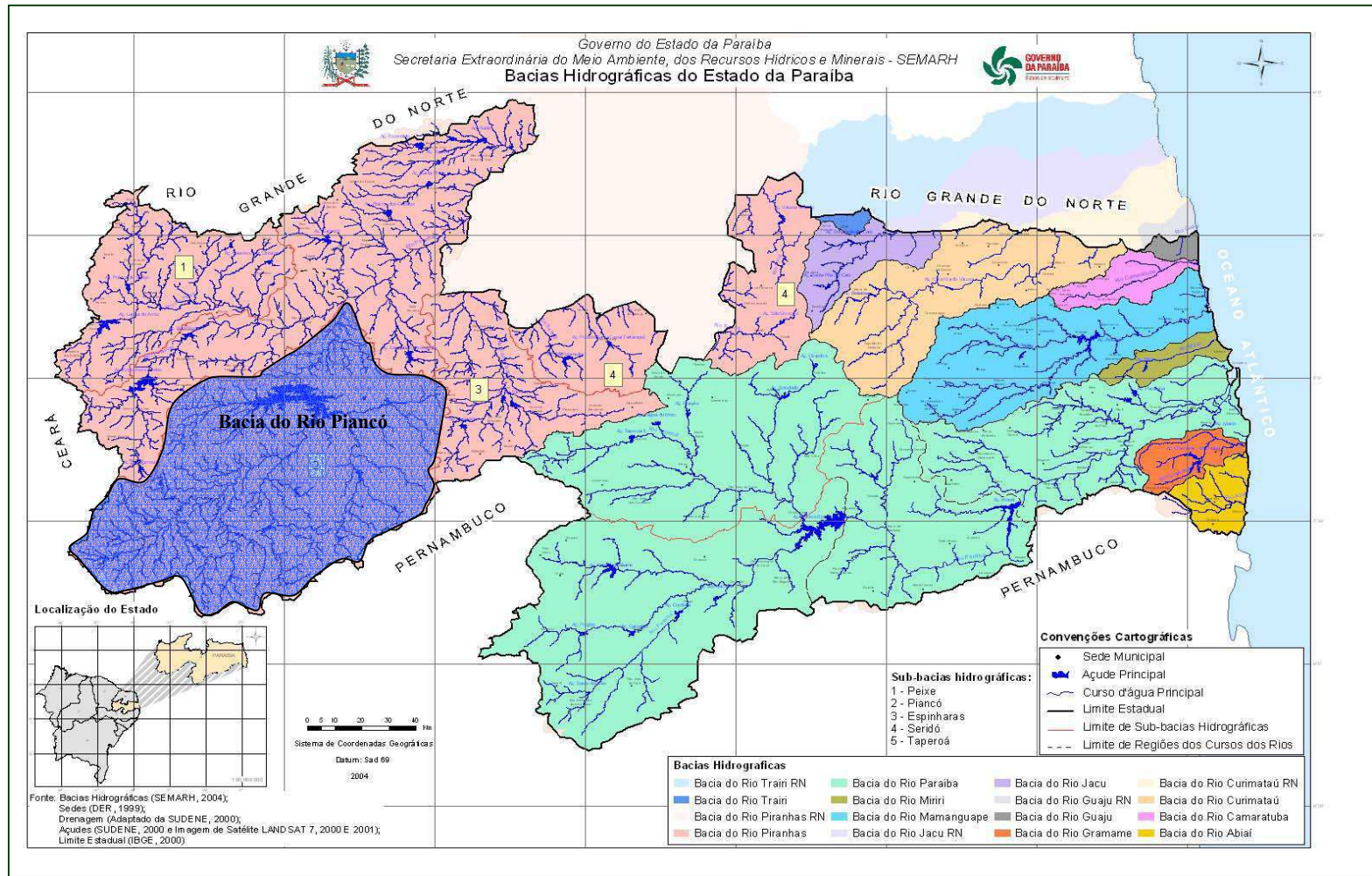
O Rio Piancó apresenta suas nascentes na Serra do Umbuzeiro no município de Santa Inês recebendo significativas contribuições de cursos d'água, desaguando finalmente no Rio Piranhas no município de Pombal. Os principais afluentes são os rios Jenipapo e Gravatá e os riachos de Santana, Minador, Canoas, Vermelho, Maria e Verde. Todo este complexo abrange completa ou parcialmente os municípios de Água Branca, Aguiar, Boa Ventura, Catingueira, Conceição, Coremas, Curral Velho, Diamante, Emas, Ibiara, Igaracy, Imaculada, Itaporanga, Juru, Manaíra, Nova Olinda, Olho d'Água, Pedra Branca, Piancó, Pombal, Princesa Isabel, Santana dos Garrotes, Santana de Mangueira, São José de Caiana, Serra Grande e Tavares, ocupando uma área aproximada de 9.228 km². Atinge partes de três microrregiões paraibanas: Sertão de Cajazeiras, Depressão do Alto Piranhas e Serra do Teixeira.

3.1.2 – CLIMATOLOGIA

Na região das cabeceiras, próximo ao município de Triunfo domina o clima do tipo Awig conforme classificação de Köeppen, enquanto as demais partes da bacia são classificadas como BSw^h. A temperatura média anual é superior a 24 °C e a amplitude térmica anual menor que 4 °C. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses mais secos, ou seja, outubro a janeiro e as menos elevadas entre abril e julho.

A umidade relativa do ar média anual é de 64% na foz da bacia, enquanto nas cabeceiras chega a 72%. Observa-se que os meses mais úmidos são março, abril e maio quando a umidade atinge 81% em Triunfo e os meses mais secos são outubro e novembro, atingindo o valor de 60%.

Figura 3.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó



Fonte: Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH.

A insolação diária alcança uma média de 7,3 horas nas circunvizinhanças da serra de Triunfo e 8,7 horas no restante da bacia

A velocidade média do vento na bacia, os valores médios alcançam 2,8 m/s. Os dados de evaporação revelam um total anual em torno de 3.000 mm, condição própria das zonas semi-áridas de latitudes tropicais.

A precipitação média anual é de 821 mm. Nos meses de fevereiro, março e abril a precipitação representa cerca de 60% deste valor, apresentando um coeficiente de variação anual em torno de 40%. Na Tabela 3.1 estão mostrados os valores médios mensais de temperatura, evaporação e precipitação na bacia, observados para o posto de Coremas.

Tabela 3.1 – Valores médios mensais de temperatura, evaporação e precipitação observados no posto de Coremas.

Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Temperatura média (°C)	28,6	27,0	27,2	26,8	26,6	25,4	25,5	26,3	27,6	28,3	28,8	28,7	27,6
Evaporação (mm)	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6	2993,4
Precipitação (mm)	85	143	235	171	69	31	11	5	2	12	24	31	821

3.1.3 – GEOLOGIA

A constituição geológica da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó é essencialmente de rochas do complexo cristalino Precambriano, excetuando-se apenas as formações aluvionares recentes. O Grupo Cachoeirinha, associado às rochas plutônicas granulares, ocupam aproximadamente 50% da área total da bacia, numa faixa centralizada de direção NE-SW. Margeando essa unidade afloram as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, ocupando ao Norte 37% e ao Sul, 13% da área da bacia.

Segundo a SCIENTEC (1997a, p.45), a Bacia Hidrográfica do Rio Piancó abrange faixas do Sistema de Dobramentos Piancó-Alto Brígida, do Maciço Rio Piranhas e da Zona Geoanticlinal de Teixeira. Localiza-se ao Sul do Lineamento Patos, sendo cortada por extensos falhamentos transcorrentes e desenvolve significativa zona de cisalhamento, onde define os contatos entre a seqüência supracrustal (Grupo Cachoeirinha) e o embasamento (Complexo Gnáissico-Migmatítico).

As bordas SE e NW da bacia, onde afloram as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, correspondem às serras e maciços cristalinos elevados, apresentando cotas que variam de 600 a 1000m. Essas altitudes também acontecem no interior da bacia em maciços e serras residuais, correspondentes aos corpos graníticos granulares. A faixa de domínio do

Grupo Cachoeirinha, por se tratar de rochas pelíticas-psamíticas, conseqüentemente menos resistentes, corresponde às superfícies aplainadas do sertão, com altitudes entre 200 e 400m.

3.1.4 – PEDOLOGIA

A avaliação e distribuição dos solos predominantes na bacia do Rio Piancó, pautam-se nos vários estudos de solos existentes no Estado. Na avaliação de terras das bacias, observa-se a ocorrência de nove classes de solos, elencadas em ordem de abrangência: Litossolos, Bruno Não Cálculo, Podzólicos, Cambissolos, Regossolos, Aluvissolos, Vertissolos, Solonetz Solodizados, Latossolos e Afloramento de Rochas.

As classes de solos ocorrentes foram mapeadas como associação de solos, sendo o solo dominante o que nomeia a classe, seguido de outras unidades taxonômicas. Com bases nos levantamentos existentes, em uma abordagem generalizada, foram adotadas as classes de capacidade de uso das terras, sendo os solos das bacias enquadrados nas classes, III, IV, VI, VII e VIII.

3.1.4.1 – CAPACIDADE DE USO DO SOLO

A capacidade de uso avalia as possibilidades e limitações que os solos apresentam para exploração, não apresentando danos de maior relevância para o empobrecimento e desgaste, com cultivos anuais, perenes, pastagens, reflorestamentos e vida silvestre. Na avaliação da capacidade de uso da bacia do rio Piancó, pelo referido plano, foram definidas cinco classes, inseridas em três grupos (SCIENTEC, 1997a, p.37):

- Grupo A - *terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, comportando as classes II a IV;*
- Grupo B - *terras impróprias para cultivos intensivos mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, porém cultiváveis em casos de algumas culturas especiais protetoras do solo, compreendendo as classes V a VII;*
e
- Grupo C - *Terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamentos, porém apropriados para proteção da flora e fauna, recreação ou armazenamento de água, compreendendo a classe VIII.*

A distribuição das classes de capacidade e suas respectivas áreas podem ser observadas na Tabela 3.2 e, na Tabela 3.3, encontram-se resumidas as classes de uso dos solos e suas respectivas áreas na bacia.

Tabela 3.2 – Resumo das classes de capacidade de uso do solo na bacia

Grupo	Classe de Capacidade	Área (km ²)	(%) da área total
A	III	1.103,2	12,1
	IV	1.472,7	16,0
B	VI	1.558,1	16,9
	VII	4.625,1	50,3
C	VIII	430,3	4,7

Tabela 3.3 – Resumo das classes de uso do solo na bacia

Legenda	Classe de solos	Área (km ²)	(%) da área total
Lvd	Latossolo Vermelho Amarelo	1,75	0,02
PE	Podzólico Vermelho Amarelo	983,91	10,66
RE	Regossolo Eutrófico	223,05	2,42
NC	Bruno Não Cálcico	915,31	9,92
Cc	Cambissolo Eutrófico	310,33	3,36
Ae	Aluissolo Eutrófico	150,25	1,63
Re	Litossolo Eutrófico	6.316,88	68,45
Ar	Afloramentos de rocha	8,34	0,09
Total		318,18	3,45

Fonte: SCIENTEC, 1997a, p.36

3.1.4.2 - EXPLORAÇÃO DE USO DO SOLO

Pode-se verificar na Tabela 3.2 que 28,1% dos solos da bacia está inserida na Classe A e apenas 2,8% dessa área está sendo explorada, geralmente por pequenas propriedades, com cultura de subsistência e alguns projetos públicos de irrigação. Os principais projetos públicos de irrigação na bacia do Rio Piancó são: Piancó I (543 ha), Piancó II (1.000ha), Piancó III (1000 ha); Piancó (Cooperar - 285 ha), Poço Redondo (500 ha), Bruscas (500 ha), Cachoeira dos Cegos (758 ha), Jenipapeiro (1.062 ha), Gravatá (943 ha), Juru (Cooperar – 230 ha) e Juru (FNE/BNB - 200 ha). Alguns desses projetos não foram implantados e, aqueles que foram, encontram-se com apenas uma pequena área efetivamente implantada. Neste trabalho serão considerados os Projetos: Bruscas, Poço Redondo, Gravatá e Piancó II, II e Brotas, que juntos totalizam uma área de aproximadamente 4.500 ha, que representa algo em torno de 46% da área total dos perímetros irrigados da bacia.

3.1.5 – RELEVO E COBERTURA VEGETAL

Com relação ao relevo, verifica-se que apenas 5% da área da bacia encontram-se em altitudes bastante elevadas e, o restante corresponde a altitudes que variam de 790 a 260 m, caracterizando, portanto, *um relevo de moderado a forte*. Apresenta uma altitude mediana igual a 461m e a altitude média da bacia igual a 485 m.

A vegetação natural é do tipo xerófila, pertencente ao bioma caatinga. O caráter xerófilo caracteriza a vegetação nativa, onde recebe a denominação de caatinga hiperxerófila, quando o índice de xerofitismo é elevado, sendo este índice baixo, denomina-se de hipoxerófila. O processo de degradação da vegetação na bacia está bastante acentuado. A área de antropismo já ocupa mais da metade das terras da bacia, causando um elevado grau de degradação, contribuindo para o processo de aridez mais acentuado na região. O desmatamento e a exploração das florestas nativas, seguidas da expansão agrícola e urbana, responsáveis pelo o impacto negativo na bacia, alcançam uma área de 6.187 km², equivalente a 67,4% da área total (SCIENTEC, 1997a, p.41).

Este fato é bastante preocupante, visto que a capacidade de interceptação das chuvas pela vegetação reduz significativamente o processo de erosão, bem como melhora a capacidade de infiltração nos solos. Os solos com cobertura vegetal nativa, na região semi-árida, apresentam valores de escoamento superficial baixo, da ordem de 8 a 12%, quando comparado com solos desmatados, cujo valor do escoamento varia entre 16 e 22%.

3.2 – RECURSOS HÍDRICOS

3.2.1 – HIDROLOGIA SUPERFICIAL

A bacia do Rio Piancó corresponde a uma das sub-bacias do Rio Piranhas, também denominada Piranhas-Açu, situada no extremo sudoeste do Estado da Paraíba. O Rio Piancó apresenta suas nascentes na Serra do Umbuzeiro no município de Santa Inês recebendo significativas contribuições de seis cursos d'água na sua margem esquerda. São eles: Riacho Humaitá, Riacho Coelho, Riacho Oitis, Riacho da Cachoeira, Riacho Capim Verde (Aguiar), Riacho do Meio. Na sua margem direita: Riacho do Açude Serra Vermelha, Riacho das Canas, Riacho da Fartura, Riacho Santana, Riacho Saco, Riacho Bruscas, Riacho da Cachoeira Grande, Riacho da Vaca Morta, Riacho dos Pilões, Riacho Passagem de Pedra, Riacho do Catolé, Riacho da Goiabeira, Riacho Madruga, Riacho Miguel e Riacho Várzea de Boi, desaguando finalmente no Rio Piranhas no município de Pombal.

O perfil longitudinal do Rio Piancó revela que o médio curso representa aproximadamente 2/3 do comprimento total e que a mesma apresenta declividade baixa neste trecho, com exceção da parte inferior, com declividades maiores, onde está situado o sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água. O rio Piancó é classificado como de ordem sete e seu coeficiente de confluência (igual a 4,48), traduz uma forma regular, com relação a sua rede de drenagem.

A forma da bacia influi fortemente no regime de escoamento do seu curso d'água principal, e, conseqüentemente, na resposta da bacia aos impulsos ou estímulos da chuva. A densidade de drenagem aumenta proporcionalmente conforme a extensão da rede de drenagem, afora outras dependências como resistência à erosão do solo, permeabilidade e cobertura vegetal da bacia e fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia.

O tempo de concentração da bacia, tempo que leva a gota de chuva para ir do limite mais externo da bacia até a calha fluvial, é tanto menor quanto maior for a declividade da bacia. Os principais parâmetros que definem as características físico-morfológicas da bacia hidrográfica são:

- Área de drenagem (A_d) 9.228 km²
- Perímetro (P) 4,14 km
- Fator de forma (K_f) 1,59
- Coeficiente de compacidade (K_c) 0,21
- Densidade de drenagem (D_d) 1,52 km/ km²

Esses índices são indicativos de que a bacia do Rio Piancó possui uma drenagem na faixa de razoável a média eficiência.

A capacidade de gerar escoamento superficial, caracterizada pela Extensão Superficial da bacia é de 0,33. Este valor mostra, em média, um percurso relativamente elevado da água precipitada em direção aos cursos d'água, neste caso, a infiltração desempenha um papel importante na forma do hidrograma.

Outro fator interveniente no escoamento superficial diz respeito ao alto grau de antropismo na bacia, representado pelo uso do solo nas atividades agropecuárias e também a considerável densidade de açudes de pequeno porte, implica em forte influência no comportamento do escoamento superficial.

Os pequenos açudes por serem distribuídos principalmente nos riachos ou cursos d'água efêmeros, de ordem 1 e 2 na classificação de Strahler, interceptam significativamente

os escoamentos superficiais, principalmente das primeiras chuvas. A partir de certo volume precipitado, suficiente para encher os pequenos açudes, estes passam a contribuir quase simultaneamente para os cursos d'água de ordens mais elevadas. A ocorrência do significativo número de pequenos açudes na bacia, se por um lado favorece a distribuição geográfica e o acesso à água armazenada, embora que durante poucos meses após a estação chuvosa, por outro lado, diminui sensivelmente o rendimento hídrico da bacia devido às maiores perdas por evaporação.

3.2.2 – HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA

A potencialidade de águas subterrâneas em bacias do semi-árido, com o sub-solo cristalinas é bastante reduzida. Não diferente dessa realidade, a bacia do rio Piancó possui um baixo potencial subterrâneo, algo em torno de 8% de todo potencial da bacia, estimado em 775,2 hm³/ano. Segundo a SCIENTEC (1997a, p. 160) o potencial subterrâneo corresponde a 62,1 milhões de m³, sendo: 49,6 milhões de m³ referentes às aluviões e 12,5 milhões de m³, relativos às reservas renováveis do cristalino.

Das disponibilidades hídricas atuais, a disponibilidade subterrânea representa apenas 3,6%, tornando-se pouco significativa para o estudo do sistema, justificando-se assim, a não consideração da hidrologia subterrânea nesta pesquisa, mas apenas a superficial.

3.2.3 – INFRAESTRUTURA HÍDRICA EXISTENTE

O armazenamento de água na bacia hidrográfica do Rio do Piancó através de açudes é imprescindível para aproveitar os volumes escoados, já que, o regime pluviométrico a que esta bacia é submetida implica no caráter intermitente de seus rios, com longos períodos de estiagem, com vazão zero sucedendo períodos de escoamento significativo.

Observa-se no nordeste semi-árido a prevalência dos pequenos açudes quando confrontados em número (e densidade) com os açudes de maior porte. Na literatura, várias tentativas de classificação são encontradas, dizendo respeito ao volume armazenado ou profundidades máximas ou área da bacia hidráulica do açude. Entretanto, o conceito de pequeno açude não é ainda consensual entre os hidrólogos.

A Lei Estadual nº 6.308 de 2 de julho de 1997 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos preocupou-se em ordenar a classificação dos açudes:

- Micro-açude até 0,5 x 10⁶ m³

- Pequeno de 0,50 a $7,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Médio de 7,5 a $75 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Grande de 75 a $750 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Macro superior a $750 \times 10^6 \text{ m}^3$

A densidade de açudes representa um índice da utilização dos recursos hídricos superficiais, principalmente para o abastecimento da população rural, o abastecimento animal e a pequena irrigação.

O número de reservatórios levantados Plano Diretor da Bacia totalizou 1.336 açudes, correspondendo a uma densidade de 0,14 açudes/km² (SCIENTEC, 1997a, p. 109). A Tabela 3.4 mostra a distribuição desses reservatórios segundo a ordem de classificação do curso d'água. Observa-se na referida tabela que aproximadamente 90,6% dos açudes da bacia estão situados em cursos d'água de 1 e 2, ou seja, uma grande parcela das disponibilidades hídricas do sistema estudado, encontra-se acumulada em micros e pequenos reservatórios. Isto mostra, por um lado, um fator positivo advindo da distribuição espacial da açudagem no atendimento das demandas hídricas de pequenas comunidades rurais mas, por outro lado, um fator preocupante pois implica em forte influência no comportamento do escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água.

3.2.4 – QUALIDADE DAS ÁGUAS

A utilização cada vez maior da água, em conseqüência da explosão demográfica, industrialização e agricultura irrigada, aliada ao desejo natural do homem de elevação do nível e da qualidade de vida, tem resultado em problemas, não só de carência como também de degradação de sua qualidade e poluição. Nas coleções de água são freqüentes os lançamentos de despejos domésticos e industriais e ainda deposição de lixo, assim como lixiviação de fertilizantes e agrotóxicos.

Na região semi-árida do Nordeste, com grande irregularidade na distribuição da pluviosidade, os problemas se tornam mais graves devido a intermitência dos cursos d'água. Tendo vazão zero durante grande parte do ano, os mesmos não podem ser usados como diluidores de despejos. Nos períodos de secas prolongadas os mananciais perdem suas recargas por precipitação, tornando-se mais vulneráveis ao processo de salinização, bem como aos riscos de poluição por perderem, nesses períodos, suas capacidades de autodepuração.

Os diversos usos da água numa bacia hidrográfica constituem fator determinante das suas características qualitativas. Embora os aspectos relacionados com a quantidade de água necessária e a qualidade desejada devem ser considerados nos programas de usos múltiplos dos recursos hídricos, neste trabalho, o enfoque foi dado sob os aspectos meramente quantitativos. Quanto ao aspecto qualitativo, estão apenas relacionados à qualidade da água de alguns reservatórios do sistema, para os usos de abastecimento e irrigação. As águas subterrâneas não foram alvo desse estudo pela justificativa anteriormente apresentada.

Tabela 3.4 – Distribuição dos açudes por ordem de classificação dos cursos d'água

Ordem do curso d'água	Número de açudes	Distribuição percentual (%)
Ordem 1	831	62,2
Ordem 2	380	28,4
Ordem 3	98	7,35
Ordem 4	13	0,98
Ordem 5	10	0,76
Ordem 6	03	0,23
Ordem 7	01	0,08
Total	1.336	100,0

Fonte PDRH/PB (SCIENTEC, 1997).

3.2.4.1 – ABASTECIMENTO HUMANO

A Superintendência de Desenvolvimento e Meio Ambiente (SUDEMA), classificou as águas superficiais dos mananciais da bacia do rio Piancó como sendo de Classe 2, em função dos usos aos quais os mesmos se destinam, segundo a Resolução nº 20, de 15 de junho de 1986 do CONAMA. Na Tabela 3.5 estão apresentados dados de controle de qualidade de água de alguns reservatórios do sistema estudado, utilizados em sistemas de abastecimento público, da qual alguns aspectos são abordados:

- com relação aos valores de pH e turbidez, os reservatórios apresentaram níveis compatíveis com a Resolução, que estabelece uma variação de pH entre 6 e 9 e turbidez máxima de 100 mg/l;
- os reservatórios apresentam a qualidade de suas água dentro do limite máximo aceitáveis de coliformes totais (5000 coliformes/100 ml de amostra), estabelecidos pela Resolução CONAMA para Classe 2. Ressalva se faz aos reservatórios Serra Vermelha e Emas, com uma tendência em apresentar concentrações elevadas, o que pode ser um indicio de comprometimento da qualidade das águas como conseqüência; e

Tabela 3.5 - Parâmetros de qualidade da água de açudes utilizados para abastecimento público na bacia do Rio Piancó.

Município	Açude	pH	Cor (PT-CO) mg/l	Turbidez mg/l	CO ₂ mg/l	Oxigênio Consumido mg/l	Alcalinidade Total mg/l	Coliformes Totais NMP/100 ml
Água Branca	Bom Jesus	7,5	45.0	10.00	26,40	6,8	110	380
Boa Ventura	Riacho Verde	7.5	10.0	1.00	14.96	2.5	170	380
Catingueira	Ameixas	7.2	15.0	3.80	23.04	11.0	300	22
Conceição	Serra Vermelha	7.4	200.0	28.00	20.24	5.5	130	2400
Diamante	Gravatá	8.2	200.0	13.00	0.00	13.0	95	200
Emas	Emas	6.8	400.0	90.00	17.60	14.0	27	2400
Itaporanga	P. Nazaré	7.5	70.0	10.00	4.40	6.5	56	380
Jurú	Glória	7.6	12.0	5.80	18.45	3.0	74	50
Manaira	Catolé	7.6	5.0	2.00	2.46	11.0	79	50
Nova Olinda	Grossos	7.5	45.0	7.50	3.52	14.0	52	2400
Imaculada	Albino	7.4	40.0	5.00	8.80	6.0	51	88
Olho D'Água	Catingueira	6.8	8.0	1.50	33.44	1.0	10	380
Piancó	Coremas	8.3	15.0	3.50	0.00	4.5	75	22
Princesa Izabel	Jatobá	7.4	15.0	8.00	5.28	3.5	64	88
S. de Mangueira	Velho / Santana	7.6	30.0	8.50	8.80	3.0	90	380
S.J. de Caiana	Piau	7.5	15.0	8.00	2.64	3.7	55	380
Tavares	Novo	7.7	45.0	18.00	8.80	4.5	78	150
Serra Grande	Cafundó	7.3	7.5	8.10	7.04	7.1	31	380
Aguiar	Frutuoso II	7.4	20.0	24.00	8.80	4.4	70	380

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997, p.192)

- os mesmos reservatórios apresentaram valor de superior ao limite estabelecido de cor (para água bruta, antes de ser tratada e distribuída em sistemas urbanos valores de até 75 mg Pt/l de cor (Resolução CONAMA - Classe 2) e foram considerados inadequados para tratamento de potabilização.

3.2.4.2 – IRRIGAÇÃO

Com relação ao uso da água destinada à irrigação em geral, do ponto de vista sanitário, não necessita atender a um padrão de qualidade elevado. É suficiente que não contenha substâncias tóxicas ao solo e às plantações. Entretanto, para irrigação de hortaliças, especialmente as que costumam ser consumidas cruas, e também alguns frutos que têm contato com o solo, a água deve atender praticamente aos mesmos requisitos que são exigidos para água potável. Muitas são as doenças produzidas por vírus, bactérias, protozoários e vermes e que são transmitidas através das verduras cruas, devido ao uso de águas contaminadas para sua irrigação, mesmo lavagem das folhas antes de serem transportadas para o mercado. Na Tabela 3.6 estão apresentados os resultados das análises, em alguns reservatórios estudados pelo sistema, onde se observa que na bacia do rio Piancó:

- as águas dos açudes de Gravatá no Município de Diamante, Cachoeira dos Cegos em Catingueira, Queimadas, localizado em Santana dos Garrotes, Mãe d'Água em Coremas e Frutuoso II no município de Aguiar apresentam condutividade elétrica superior a 100 $\mu\text{mhos/cm}$ e inferior a 250 $\mu\text{mhos/cm}$, classificada como C1, o que significa baixo risco de salinidade. Portanto, pode ser usada na irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade;
- as águas dos açudes: Santa Inês (Conceição); Poço Redondo (Santana de Mangueira); Saco (Nova Olinda) e Bruscas (Curral Velho) apresentam condutividade elétrica superior a 250 $\mu\text{mhos/cm}$ e inferior a 750 $\mu\text{mhos/cm}$, classificada como C2, ou seja médio risco de salinidade. A água é de média salinidade. Pode ser usada para irrigação sempre que haja um grau moderado de lixiviação, no entanto, sem necessidade de práticas especiais de controle;
- a água do açude Santa Inês apresentou elevado teor de bicarbonato. Isto significa que essa água apresenta um grau moderado de restrição para o uso em sistemas de irrigação que molhem as folhas e frutos, como a aspersão; e

- com relação à concentração de sódio em relação a outros cátions, as análises de laboratório revelam que as águas de todos os açudes investigados na bacia do rio Piancó apresentam RAS inferior a 3 (sodicidade baixa), significando um baixo risco de sodificação do solo.

3.2.5 – CONFLITO DE USO DA ÁGUA

Com o desenvolvimento econômico, os usos múltiplos dos recursos hídricos têm se intensificado trazendo consigo os conflitos entre os diversos usuários da água, principalmente em regiões com problema de escassez. A adoção de dotações de consumo para uma determinada finalidade ainda se constitui numa difícil tarefa, visto que dependem de fatores, tais como: naturais, sociais, econômicos e às vezes políticos. Em pequenos reservatórios, devido aos baixos volumes disponíveis, a escolha por somente um uso torna-se, quase sempre, necessária, priorizando-se os usos para o abastecimento humano e para o consumo animal. Entretanto, nos grandes reservatórios, deve-se promover a compatibilidade entre as diversas demandas, de forma a permitir o aproveitamento planejado para os múltiplos usos das suas disponibilidades hídricas.

Segundo Lanna (1993), a gestão integrada de uso, controle e conservação dos recursos hídricos, uma forma eficiente de evitar e administrar esses conflitos, envolvendo uma grande diversidade de objetivos (econômicos, ambientais, sociais, etc), de usos (abastecimento, irrigação, geração de energia, etc) e de alternativas.

Na bacia hidrográfica do Rio Piancó está inserida a maior reserva hídrica, formada por dois reservatórios interligados: o Sistema Coremas-Mãe D'Água, com capacidade para acumular 1,358 bilhões de metros cúbicos. Neste sistema são observados os principais usos da água, sendo esta a única bacia no Estado com demanda para geração de energia. O gerenciamento desse sistema é bastante complexo, envolvendo 24 reservatórios de montante (que abastecem de vários municípios) e 6 perímetros de irrigação, com uma área total de 4.500 ha, o sistema Coremas-Mãe D'Água que atende a diversos usos de jusante, dentre eles: a geração de energia, perenização do Rio Piancó, as demandas hídricas do estado do Rio Grande do Norte, abastecimento do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, o sistema adutor de Coremas/Sabugi, (que atenderá o abastecimento de 17 municípios) e demandas de irrigação à jusante do sistema.

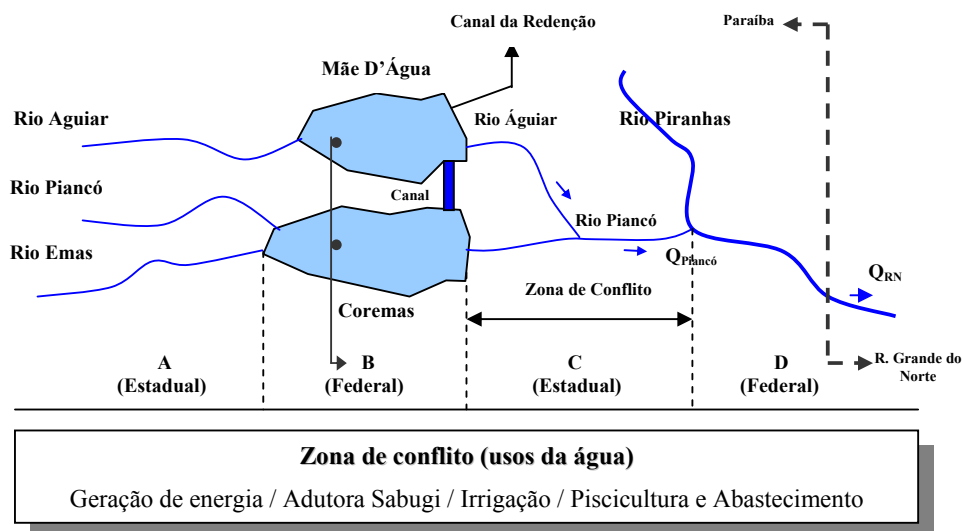
Tabela 3.6 - Análise físico-química da água de grandes açudes da bacia do Rio Piancó para fins de irrigação

Município	Açude	Parâmetros			Valores (mEq/l)							
		pH	C.E. µmhos/cm	RAS	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ¹	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Diamante	Gravatá	7,63	225	0.74	0,43	0.80	0.58	0.23	0.00	1.92	0.42	Ausente
Catingueiras	Cachoeiras dos Cegos	7.79	176	0.70	0.65	0.40	0.51	0.14	0.00	1.39	0.35	Ausente
Santana dos Garrotes	Queimadas	8.84	156	0.55	0.53	0.53	0.40	0.13	0.20	1.14	0.25	Ausente
Corremas	Mãe d'Água	7.70	188	0.72	0.70	0.42	0.54	0.14	0.00	1.48	0.47	Ausente
Aguiar	Frutuosa II	7.56	142	0.54	0.52	0.41	0.37	0.11	0.00	1.35	0.22	Ausente
Conceição	Santa Inês	8.45	465	1.00	1.30	2.17	1.32	0.17	0.46	2.54	1.35	Ausente
Curral Velho	Bruscas	7.97	440	1.50	1.10	1.35	1.66	0.19	0.34	1.53	2.60	Ausente
Santana de Mangueira	Poço Redondo	8.46	318	0.74	0.95	1.17	0.76	0.13	0.24	1.41	1.45	Ausente
Nova Olinda	Saco	7.92	342	1.21	0.91	0.92	1.16	0.17	0.00	1.71	1.85	Ausente

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997, p. 192)

O primeiro grande conflito está relacionado com a questão do domínio das águas. Na Figura 3.2, está representado esquematicamente o domínio dos recursos hídricos da bacia, sub-dividido em montante, nos reservatórios e a jusante.

Figura 3.2 – Esquema representativo do domínio das águas na bacia do rio Piancó.



Domínio das águas

- **Trecho A** – Montante dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água
- **Trecho B** – Água retida no formado pelos reservatórios
- **Trecho C** – Jusante do sistema até o rio Piranhas (perenização do rio Piancó)
- **Trecho D** – Encontro do rio Piancó com o rio Piranhas até a foz (RN)

Na região **A**, situada a montante do Sistema, o domínio é do Estado, ou seja, toda a água retida nos 24 reservatórios de montante e em circulação pelos rios e riachos. A água retida no Lago (região **B**) formado pelos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, é de domínio da União, visto que as barragens foram construídas pelo DNOCS e, neste caso, cabe ao Governo Federal legislar sobre uso das águas desse sistema. A água que é liberada pelo sistema, entre os reservatórios até a entrada do rio Piancó no Rio Piranhas (região **C**), volta a ser de domínio do Estado. Esta região é considerada, do ponto de vista da gestão, como a região crítica do sistema, visto que, nesta está contida a demanda hídrica para o estado do Rio Grande do Norte, que constantemente tem reclamado, através do órgão gestor desse estado, com relação a vazão que é liberada para o referido estado. Na região **D**, quando o rio Piancó deságua no rio Piranhas até sua foz, o domínio volta a ser da União.

Diante do exposto, é notória a complexidade do gerenciamento hídrico do referido sistema, devido as constantes mudanças do domínio das águas, onde os interesses e os objetivos são diferenciados em função do órgão de gestão. O grande desafio está em se implantar um gerenciamento para o sistema capaz de atender as demandas de montante e jusante do sistema, de forma integrada, através de definição de uma política operacional que atenda aos interesses das duas esferas (estadual e federal) que detém parte do domínio das disponibilidades hídricas do referido sistema.

A montante, o conflito reside entre o atendimento das demandas de abastecimento e das demandas de irrigação. Os perímetros de irrigação de montante, quando iniciadas suas implantações, os reservatórios tinham praticamente somente esta finalidade, ou seja, não estavam comprometidos com o abastecimento urbano. Ao longo do tempo, como esses perímetros não foram totalmente implantados, outros usos foram sendo incorporados, principalmente demandas de abastecimento humano. Com isso, aumentaram-se os riscos de não atendimento das demandas totais de irrigação em razão da priorização do uso para o abastecimento, criando assim um conflito entre esses dois usos na região da bacia estudada.

Outra questão relacionada à gestão dos recursos hídricos de montante, diz respeito aos perímetros alimentados diretamente pelo rio Piancó, cerca de 2.500 ha, que dependem da liberação de água dos reservatórios situados a montante dessas áreas. Nesses perímetros foram investidos, pelo Estado, cerca de 10 milhões de reais na implantação do perímetro Piancó II e 17 milhões de reais no perímetro Piancó III. O uso da água dos reservatórios para suprimento das demandas desses perímetros tem sido alvo de constantes conflitos entre os irrigantes e a população abastecida pelos reservatórios, que temem colapsos hídricos nos mesmos causados pelo atendimento das demandas de irrigação. Ressalta-se ainda que, alguns reservatórios com finalidades de irrigação, tais como, Garra, Poço Redondo e Canoas, não estão concluídos e que suas conclusões interferirão nas disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água e, conseqüentemente, no atendimento das demandas de jusante.

A água acumulada no lago dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água é de domínio da União, cuja operação é feita pelo DNOCS. Por não ser um órgão de gestão, a preocupação na operação desses reservatórios está relacionada com os estoques de água para o atendimento da geração de energia, enquanto que a preocupação do órgão gestor do Estado (SEMARH) está relacionada com os volumes liberados pelos referidos reservatórios.

A zona de maior conflito desse sistema está situada na sua parte de jusante, não somente pela maior vazão requerida, mas também, pelo domínio sobre a vazão a ser liberada pelo sistema, visto que a água liberada pelo sistema até desaguar no rio Piranhas é de domínio do Estado. Esse trecho pode ser considerado o mais crítico do sistema, pois a vazão fornecida

pelos reservatórios deverá suprir: as demandas de abastecimento de municípios (com captação direta no rio e pela adutora Coremas-Sabugi), irrigação pontual e de perímetro (no caso, Piancó I), piscicultura e a demanda requerida pelo Estado do Rio Grande do Norte. Esta última, alvo de constante conflito entre os dois estados vizinhos. Na Figura 3.3 estão representados os reservatórios envolvidos no estudo e os principais usos da água de montante e jusante da bacia hidrográfica do rio Piancó.

Outro ponto de conflito de uso de jusante, talvez o mais polêmico do sistema, está relacionado com o atendimento das demandas hídricas para o perímetro de irrigação Várzeas de Sousa, com uma área potencial de 5.000 ha. Neste projeto foram investidos cerca de 51,5 milhões de reais, incluída a construção de 37 km do Canal da Redenção, responsável pela adução da vazão máxima de 4,0 m³/s do reservatório Mãe D'Água até o perímetro. A priorização do atendimento dessa demanda tem sido alvo de reivindicação da população da região beneficiada.

Para equacionar tais conflitos e tentar resolvê-los foi feito um esforço conjunto entre a Agência Nacional de Água (ANA), o Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) e os órgãos gestores dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte na elaboração de um documento, denominado de Marco Regulatório, com objetivo de promover a gestão integrada e participativa do rio Piranhas-Açu, visando a elaboração de critérios, normas e procedimentos relativos ao uso dos seus recursos.

Embora o esforço desses órgãos para a elaboração de Marco Regulatório tenha sido um importante passo para gerenciamento do conflito, o enfoque pode ser questionado, visto que, neste houve preocupação com as demandas entorno do lago e de jusante do sistema, cujo suprimento seria através de vazão regularizável com garantia de 100%. A grande crítica que pode ser feita ao procedimento está relacionada à não consideração da parte a montante do sistema. As intervenções possíveis de montante, tais como: conclusão ou construção de reservatórios, implantação dos perímetros irrigados e também, a priorização de atendimento das demandas de montante, interferirão nas disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água e, conseqüentemente, no atendimento as demandas de jusante.

Neste trabalho, uma avaliação desses impactos sobre as disponibilidades do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água será realizada visando-se à formulação de propostas alternativas para gestão integrada do sistema Piancó de forma sustentável para minimizar os conflitos de uso da água para atendimento das demandas de montante e de jusante.

3.3 – ASPECTOS SOCIO-ECONÔMICOS

3.3.1 – DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA

A Bacia do Rio Piancó é a segunda maior do Estado da Paraíba sendo formada por 26 municípios, correspondendo a 12% do total dos municípios paraibanos. São eles: Água Branca, Aguiar, Boa Ventura, Catingueira, Conceição, Coremas, Curral Velho, Diamante, Emas, Ibiara, Igaracy, Imaculada, Itaporanga, Juru, Manaíra, Nova Olinda, Olho d'Água, Pedra Branca, Piancó, Pombal, Princesa Isabel, Santana dos Garrotes, Santana de Mangueira, São José de Caiana, Serra Grande e Tavares.

Os municípios da bacia possuem uma área de 9.761 km², o que representa 17,3% da área total do Estado. O município de Pombal se coloca como o de maior área com 1.402 km² (14,4%), seguido de Conceição com 1.002 km² (10,3%) e Piancó com 672 km² (6,9%). As áreas desses três municípios somam 3.076 km², representando um percentual de 31,5% da área total da bacia (PDRH/PB, SCIENTEC, 1997b, p. 25).

3.3.2 – POPULAÇÃO

Os municípios que compõem a bacia apresentavam no ano de 2.000, um contingente populacional de 265.734 habitantes, equivalente a 8% da população total do Estado. Dessa população, 52,9% reside na área urbana, enquanto a 47,1% se concentra na zona rural. A densidade demográfica da bacia para o referido ano chegava a 28,8 hab/km², sendo a maior densidade observada na zona urbana, 15,3 hab/km², contra 13,5 hab/km², registrada na zona rural.

O estudo da bacia revela que (SCIENTEC, 1997b, p.25), embora os municípios apresentassem uma característica demográfica eminentemente rural, onde se observava que 60% da população estava no campo na década de (1970-80), já na década (1980-90) ocorreu substancial incremento da população urbana em relação à população rural. Em 1980, aproximadamente 29% da população estava na área urbana, em 1991, esse percentual se elevou para 41% e no ano de 2.000, esse percentual atingiu 53%, superando assim a população residente rural.

3.3.3 – SETORES PRODUTIVOS

Dados do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia PDRH/PB (SCIENTEC, 1997b), revelam ainda que houve um decréscimo significativo no setor primário, que na

década de 70 correspondia a 86,2% da população economicamente ativa da região, passando para 50% em 1994. Essa população migrou para outros setores da economia (secundário e terciário), cujo maior percentual de crescimento foi o setor terciário, com valor de 7,6% em duas décadas. A distribuição percentual da população economicamente ativa da bacia no ano de 1994 é a seguinte: setor primário (50,0%), setor secundário (8,2%), setor terciário (41,8%).

A grande maioria dos municípios da Bacia do Rio Piancó possui a agricultura e a pecuária predominantes como base econômica da região. A área utilizada para as culturas temporárias e permanentes ocupa 25,8% do total das terras disponíveis, enquanto que a área destinada a pecuária, com pastagens naturais ou plantadas, representa 27,6%. Excluindo os municípios de Pombal, Itaporanga, Princesa Isabel e Piancó, que apresentam uma performance mais urbanizada, onde os setores secundário e terciário começam a se sobressair na formação da riqueza da bacia, os demais são eminentemente agrícolas.

Dentre as principais culturas agrícolas temporárias produzidas na bacia, em 1980, o feijão em grão, o algodão herbáceo e o milho em grão se destacam como os que mais participam na formação do valor da produção: 11,6%, 8,9% e 4,7% respectivamente, seguidos da cana-de-açúcar (1,69%) e da mandioca (1,47%). Em termos de cultura permanente, apenas o algodão arbóreo se destaca na produção agrícola da bacia com 65,74% e 21,55% do valor da produção nos anos de 1980 e 1985, respectivamente.

No que se refere à pecuária, a produção já foi significativa nos anos de 1980 e 1990. A partir de 1990, ocorreu sensível redução na produção agropecuária da bacia em razão, tanto da estiagem de 1993 quanto da própria política do governo em relação ao setor agropecuário. Até mesmo o rebanho caprino, considerado de forte resistência às adversidades e intempéries climáticas, apresentou taxas decrescentes nos períodos 1985/94. Segundo PDRH/PB (SCIENTEC, 1997b, p.31), no ano de 1994, a região se destacava na produção de bovinos como de maior rebanho 46,0%, suínos 25,7%, ovinos 14,8% e caprinos com 13,5%. Outro item da produção agropecuária presente na região da bacia que merece destaque é a produção de ovos que apresentou um acréscimo de 44%, entre o período de 1980 a 1994.

CAPÍTULO IV

REVISÃO DA LITERATURA

4.1- INTRODUÇÃO

Os diversos conflitos advindos dos usos múltiplos dos recursos hídricos, a operação integrada de sistemas de reservatórios e as restrições impostas aos respectivos sistemas têm tornado difícil a tarefa de se estabelecer políticas operacionais eficientes. Com o aumento da intensidade e variedade dos usos dos recursos hídricos causados pelo desenvolvimento econômico, trouxe o desequilíbrio entre a demanda e a oferta, motivando assim, os constantes conflitos entre usuários, principalmente em regiões com escassez de recursos. Torna-se cada vez mais evidente a necessidade de adoção de medidas no sentido de minimizar e administrar esses conflitos.

Na busca de soluções para os complexos problemas de planejamento e gestão dos recursos hídricos lança-se mão de utilização de técnicas e ferramentas capazes de auxiliarem nos processos de análise, operação, planejamento e tomadas de decisão em sistema de recursos hídricos. Os estudos de alternativas operacionais, em sistemas de recursos hídricos, são comumente feitos através de aplicação de complexas metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de otimização e simulação (YEH, 1985; SIMONOVIC, 1992; WURBS, 1993 e LABADIE, 1994).

Segundo Porto (2001), o problema de alocação de água é extremamente complexo e para resolvê-lo tem-se desenvolvido, nas últimas três décadas, um grande número de instrumentos que fazem parte de metodologias conhecidas por Pesquisa Operacional, Análise de Sistemas de Recursos Hídricos e, mais recentemente, Sistemas de Suporte a Decisão.

A pesquisa operacional foi uma técnica introduzida durante a Segunda Guerra Mundial para a solução de problemas de operações militares, que utiliza o método de Descartes na solução de problemas complexos. Deve-se ao “Harvard Water Program” a ação pioneira de introduzir esse tipo de abordagem em planejamento e gestão dos recursos hídricos. No processo de escolha da alternativa ótima, ao longo dos anos várias técnicas foram desenvolvidas, sendo as mais conhecidas: a programação linear, a programação dinâmica e a simulação computacional. Yeh (1985) apresenta uma extensa revisão dos diversos modelos de operação e dimensionamento de reservatórios desenvolvidos e aprimorados, para solucionar problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

Com os contínuos avanços da computação, aliados ao aumento de complexidade nos problemas de gerenciamento de recursos hídricos, têm estimulado a prática de se usar

modelos matemáticos como ferramentas para auxiliar as tomadas de decisão. Aparentemente o que é necessário é uma integração de modelos, dados e rotinas de interpretação, que processam eficientemente os dados de entrada, segundo os critérios que descrevem o comportamento físico do sistema e expõe os resultados em formato fácil de ser interpretado. Tal conjunto pode ser chamado de Sistemas de Apoio à Decisão (BRAGA et al., 1988). Entretanto, as principais limitações desse tipo de modelo estão na discretização de processos contínuos e na dificuldade de representação matemática de alguns fenômenos físicos. Nenhum processo físico poderá ser completamente observado e os dados que geram seu modelo matemático certamente envolverão alguns elementos de incerteza. Portanto, nenhuma expressão matemática poderá representá-lo com precisão, necessitando sensibilidade e experiência por parte do usuário.

Segundo Lanna (1997), para a análise de sistemas de recursos hídricos, são dois os principais propósitos: simular o comportamento da realidade e otimizar os processos decisórios. Para tanto, as seguintes técnicas são comumente utilizadas: a *simulação* e a *otimização*. A simulação tem como principal característica a *flexibilidade*, sendo esta considerada uma das principais vantagens, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática mais detalhada. As técnicas de otimização buscam identificar a solução que otimize uma determinada função objetivo que representa matematicamente os objetivos de um sistema a serem melhorados, ordenando-os em relação a sua atratividade. Apesar de terem como algumas de suas restrições, um modelo matemático que simule o comportamento do sistema, estas devem ser, preferencialmente, mais simples e pouco complexas.

Na solução do problema, num processo iterativo de busca dos valores ótimos, são envolvidas geralmente, milhares de iterações, requerendo que sejam resolvidas, simultaneamente, todos os sistemas de equações para cada um dos intervalos de tempo. Isto faz com que seja aumentado em muito os requerimentos de memória e esforço computacional, pelo fato de que, no processo decisório da busca da melhor solução, uma mudança na variável de decisão num instante t , afetará todos os processos em tempos subseqüentes. Apesar das hipóteses simplificadoras, necessárias na representação do sistema, parecerem ser a principal desvantagem dos métodos de otimização (porque podem causar um distanciamento entre o modelo o sistema real) eles levam vantagens sobre os métodos de simulação quando da busca de melhorias no desempenho do sistema, visto que, a busca de uma solução “otimizada” via métodos de simulação ter-se-ia que lançar mão do processo da tentativa e erro.

De modo geral, pode-se dizer que modelos de simulação são mais apropriados para análise da performance de alternativas operacionais de longo prazo, sendo úteis para

representar a operação do sistema com um grau elevado de segurança. Apesar de não serem capazes de gerar diretamente uma solução ótima, podem revelar uma solução pelo menos próxima dela, quando políticas alternativas são geradas por meio de numerosas rodadas do modelo. Os modelos de otimização aplicam-se aos casos em que interessa saber a alternativa operacional ótima do sistema. Estes modelos utilizam algoritmos para selecionar, sistematicamente, soluções ótimas, procurando satisfazer uma função objetivo e restrições operacionais.

Apesar de se reconhecer que a simulação, a otimização e os métodos associados serem ferramentas essenciais para o desenvolvimento de bases quantitativas para a tomada de decisão, ainda existe uma lacuna entre estudos de pesquisa e a aplicação dessas teorias na prática. Este fato é devido às características complexas, dinâmicas e multidisciplinares dos problemas de recursos hídricos, e a necessidade de se representar o sistema real em um formato matemático apropriado para as técnicas de otimização (SIMONOVIC, 1992).

A despeito das diferenças entre simulação e otimização, muitas vantagens poderiam ser extraídas do uso combinado dessas técnicas. Segundo Simonovic (1992), esta abordagem contribui para reduzir ou eliminar a distância entre teoria e prática na análise de sistemas de recursos hídricos. Podem-se citar vários exemplos bem sucedidos do uso combinado de modelos de diferentes categorias que foram empregados na solução de problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

A combinação ou integração de modelos e de programas computacionais para análise de sistemas de recursos hídricos vem sendo feita com sucesso através dos chamados sistemas de suporte a decisão (LOUCKS et al., 1983; CUNNINGHAM e AMEND, 1986; BRAGA et al., 1998 e AZEVEDO et al., 1998).

Como descrito anteriormente, existem vários modelos que podem ser utilizados na análise de sistema de reservatórios. Entretanto, não existe uma metodologia consagrada que possa ser utilizada para todas as configurações possíveis de um sistema, visto que estas diferem sob vários aspectos. A escolha de uma metodologia a ser aplicada depende de vários fatores, dentre eles: a configuração do sistema, os objetivos de uso dos recursos hídricos e o estágio da aplicação. Na maioria dos casos, os modelos de suporte a decisão são combinações de técnicas de otimização e simulação. Na primeira, busca-se a alternativa operacional ótima do sistema e, na segunda, busca-se um refinamento da política operacional, através do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Alguns modelos combinam as duas técnicas de simulação e otimização e outros, que utilizam metodologias multiobjetivo, têm sido utilizados no planejamento e gerenciamento de sistema de recursos hídricos.

Fatores subjetivos podem entrar em cena com pesos significativos e precisam ser considerados com o devido cuidado ao lado de outros aspectos que podem ser tratados mais objetivamente. Uma das questões mais polêmicas em planejamento e gerenciamento de recursos hídricos é como escolher e formalizar os critérios que guiarão a escolha da melhor alternativa (PORTO e, 1997).

Embora existam várias técnicas e metodologias amplamente aplicadas em diversos estudos divulgados na literatura, envolvendo Sistemas de Suporte a Decisão, alguns serão descritas neste trabalho, não foi observado um único modelo capaz de representar o sistema estudado. Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as técnicas de simulação e otimização, através do uso de três modelos: o MODSIM P32 (LABADIE, 1998), modelo disponibilizado gratuitamente, capaz de simular sistemas que possam ser representados por rede de fluxo e otimizar, a nível mensal, a operação de sistema através da utilização de um algoritmo que utiliza técnica de programação linear. O modelo ORNAP (CURI e CURI, 1999), cuja função objetivo permite a aferição de desempenho do modelo através de equações de natureza linear e não linear, que traduzem, a nível mensal, as limitações físicas dos reservatórios, perímetros irrigados e equipamentos hidráulicos, limitações hidrológicas, legais, econômicas e sociais, inerentes aos sistemas de usos múltiplos. O modelo SimCOMA, desenvolvido durante esse trabalho para avaliação das disponibilidades hídricas do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água, com base num algoritmo de transferência de estoques de águas entre eles, que compatibiliza os níveis dos reservatório. Esse modelos serão descritos em detalhes no Capítulo V.

4.2 - MODELOS DE SIMULAÇÃO

Os modelos de simulação são constituídos de expressões matemáticas estruturadas em seqüência lógica capaz de descreverem a operação de um sistema no tempo e no espaço. O objetivo desses modelos é não somente representar e operar um sistema de forma detalhada, mas principalmente, de fornecer informações que permitam a avaliação do comportamento real desse sistema (MAUAD, 2000).

Além da flexibilidade, a simulação apresenta também com vantagem, a possibilidade de ser aplicado a sistemas complexos e aceitar quaisquer equações de restrições. Como limitação, a técnica de simulação não permite aos usuários restringir o espaço decisório, sendo portanto, a solução de problemas é alcançada pelo processo de tentativa e erro, ou seja, não permite se determinar à política operacional ótima do sistema. A solução ótima é alcançada iterativamente, através do processamento de repetidas simulações para diferentes alternativas,

analisando e comparando os resultados. A simulação não é capaz de gerar diretamente uma solução ótima mas, quando exercidos diversas vezes, com políticas de decisão alternativas, pode detectar algumas vezes uma solução ótima ou próxima desta.

Devido a sua flexibilidade, nas últimas décadas têm sido desenvolvidos diversos modelos para solucionar problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. O mais antigo modelo de simulação, segundo Yeh (1985), associado aos recursos hídricos, é o estudo feito pelos Engenheiros das Forças Armadas Americanas em 1953 que consistia em estudar a operação de seis reservatórios no Rio Missouri.

Modelos de simulação na década de 70, incluem o HEC-3, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica (USA) em 1971; SIM I e II (EVANSON e MOSELY, 1970); simulação da Bacia New York's Oswego; estudos de Upper Wabash em Indiana (Toebe e Chang, 1972); Modelo HEC-5 (Centro de Engenharia Hidrológica - USA, 1979); Modelo da Bacia do Rio Arkansas (COOMES, 1979); Modelo TVA (SHELTON, 1979); HYSSR (Hydro System Seasonal Simulator) desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros da Divisão do Pacífico Norte (JONES, 1979). HYSSR é um modelo com rotina seqüencial mensal desenvolvido para analisar a operação de um grande sistema de reservatórios para geração hidrelétrica e controle de cheia. Outros modelos da mesma época são: Sistema Duke (SLEDGE, 1979); e Modelo ACRES (SIGVALDASON, 1976).

O modelo ACRES, desenvolvido para avaliar políticas alternativas de operação do sistema do Rio Trent, Canadá, com objetivos de controle de cheia, abastecimento de água e geração de energia. Também são citados: HLDPA (Hourly Load Distribution and Pondage Analysis Program) e HYSYS (Hydropower System Regulation) – USAGE North Pacific Division.

O HEC-3 e o HEC-5 têm capacidades similares para simular o sistema em intervalos de tempo mensais. No entanto, o HEC-3 não determina o volume de controle de vazões. A versão HEC-3 (1971) foi expandida e modificada até chegar ao HEC-5 (1979) onde o usuário especifica as regras de operação do seu sistema, entrando com dados de capacidade de armazenamento dos reservatórios, vazões de entrada mínimas e máximas. Outro modelo bastante conhecido e utilizado é o SIMLYD-II, semelhante ao HEC-5, porém utiliza um algoritmo otimizador, o qual minimiza os desvios em relação a uma meta pré-estabelecida. O modelo BRASS (Basin Runoff and Streamflow Simulation), criado na década de 80, foi originalmente desenvolvido para auxiliar as operações de controle de cheia. É um modelo iterativo que inclui o coeficiente de escoamento superficial, armazenamento através de comportas de reservatórios e capacidade de seqüência de vazões dinâmicas.

O MODSIM desenvolvido na Colorado State University por Labadie et al. (1984), é essencialmente um modelo de simulação que permite fazer a otimização aplicada individualmente para cada mês, da alocação de água via modelo de rede de fluxo. Foi utilizado por Azevedo et al. (1994) na Bacia do Rio Piracicaba. De acordo com os autores, a capacidade de combinar simulação e otimização é um dos pontos fortes do MODSIM em relação aos outros modelos, nos quais as soluções ótimas devem ser determinadas por tentativas e erros. O MODSIM inclui a capacidade de otimizar, para cada mês, a operação de sistemas mediante a utilização de um algoritmo de rede de fluxo chamado “out of kilter”. Trata-se essencialmente de um algoritmo de programação linear desenvolvido para a solução de problemas de otimização de redes de fluxo. Os modelos com versões anteriores ao MODSIM baseados em redes de fluxo que utilizaram este algoritmo comprovaram sua eficácia quando aplicados com sucesso em sistemas complexos de bacias hidrográficas, como a Bacia de Poudre no Colorado (LABADIE et al., 1986) e a Bacia Upper Colorado (LAW E BROWN, 1989). O modelo MODSIM-P32 é uma versão atualizada do modelo MODSIM, com uma interface amigável desenvolvida na Escola Politécnica da USP, onde foi testado, documentado e é de domínio público. Este modelo foi utilizado por Azambuja (2000) na Bacia do Rio Piracicaba.

O modelo “The Water Rights Analysis Program” (TAMUWRAP) simula o gerenciamento da água superficial e a operação de um sistema de reservatórios e é baseado nas demandas de acordo com a prioridade especificada pelo usuário (WURBS et al., 1993).

O modelo IRIS (Interactive River System Simulation Program), Loucks et al. (2000), foi especificamente desenvolvido para analisar os conflitos em bacias hidrográficas. Os setores em conflito podem entrar com dados e suposições relativas a suas preferências, então podem realizar uma simulação e assim comparar os resultados com outras simulações que tenham suposições e dados diferentes. O processo de solução do modelo só leva em consideração dados e suposições que causam mudanças significantes no desempenho do sistema.

O modelo de simulação IRAS (Interactive River-Aquifer Simulation) desenvolvido em 1994, pela INC (Resources Planning Associates) e pela University of Cornell, Ithaca, NY, ajuda na avaliação de projetos alternativos e políticas operacionais de sistemas de recursos hídricos, quantificando os parâmetros de: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade (TAYLOR, 1998). O modelo foi utilizado por Mauad (2000) num estudo em Alqueva, Portugal. Os resultados da simulação computacional forneceram a *resiliência*, *confiabilidade* e *vulnerabilidade* do sistema para os diversos usos da água. Também utilizaram o mesmo simulador Brandão e Rodrigues (2000), para caracterizar usos futuros da água à jusante do rio

Guadiana que atenda às condições hidrológicas e os períodos de seca, de forma que sejam compatíveis com a sustentabilidade ecológica do rio. Peixoto (2002) aplicou o modelo IRAS para a Bacia do Rio Sapucaí- Mirim/Grande no Estado de São Paulo, Brasil.

O modelo MIKE BASIN 2000, desenvolvido pelo DHI (Danish Hydraulic Institute) da Dinamarca, é uma potente ferramenta capaz de executar análises hidrológicas extensas para sistemas independentes de abastecimento, de irrigação, produção de energia elétrica e também para sistemas de usos múltiplos. O modelo foi utilizado por Dyrbak (2000), num estudo da operação de reservatórios na Polônia e por Lima (2002), na Bacia do Rio Atibaia, no estado de São Paulo.

4.3 - MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

As respostas para os problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos que buscam a escolha de melhor alternativa, que maximize um índice de eficiência, têm solução através de modelos de otimização. Os modelos de otimização são representados por uma formulação matemática, na qual um algoritmo formal é usado para calcular um conjunto de valores para as variáveis de decisão que minimizem ou maximizem uma função objetivo, sujeita a restrições (WURBS, 1993). Segundo Simonovic (1992), a função objetivo de um problema de otimização representa uma forma de valoração do nível de desempenho obtido por mudanças específicas num conjunto de variáveis de decisão, as quais definem como um sistema está para ser operado.

Na modelagem de sistemas de recursos hídricos, a técnica da otimização é bastante utilizada e difundida na literatura. Em problema de planejamento de bacia hidrográfica, a programação linear foi inicialmente aplicada em 1962 (YEH, 1985). Muitos pesquisadores têm aplicado as técnicas de otimização e simulação combinadas, onde a flexibilidade da simulação e o poder exploratório da otimização formam uma ferramenta poderosa na análise de sistema de recursos hídricos (DANDY et al., 1997)

Alguns pesquisadores combinam técnicas de programação diferentes na busca da melhor solução para os problemas que envolvem sistemas de recursos hídricos. Becker e Yeh (1974), usaram mais de um modelo de otimização, combinando técnicas de programação Linear e de programação Dinâmica. Segundo Simonovic (1992), a maioria dos modelos de otimização são baseados em algum tipo de programação matemática, sendo que a classificação básica das técnicas de otimização consiste de: Programação Linear (PL), Programação Dinâmica (PD) e Programação Não Linear (PNL), comentadas a seguir.

4.3.1- PROGRAMAÇÃO LINEAR

A Programação Linear (PL) é a técnica de otimização que mais se desenvolveu e uma das mais aplicadas em gerenciamento de recursos hídricos (BARBOSA, 1997; SIMONOVIC, 1992). As aplicações pioneiras do PL na área de recursos hídricos remontam à década de 1960, no contexto dos trabalhos do Harvard Water Resources Group, especialmente num problema de gerenciamento de água subterrânea (BARBOSA, 1997). A primeira aplicação da PL em problemas determinísticos de reservatório foi feita em 1962, sendo usada para um problema simplificado de um reservatório sem armazenamento extra-anual (DORFMAN apud SIMONOVIC, 1992).

A técnica de programação linear consiste na representação aproximada da realidade de um sistema, através de um conjunto de equações e inequações lineares, onde se procura alocar eficientemente recursos limitados entre várias atividades competitivas, de tal forma que maximize ou minimize uma função linear chamada de função objetivo (STROBEL, 1983).

O desenvolvimento da PL está entre os mais importantes avanços científicos do século XX. O termo linear refere-se à necessidade de se haver relações lineares entre as variáveis. O termo programação não se associa à computação e sim ao planejamento de atividades. Desde então, a PL se caracteriza como a técnica de otimização mais empregada na área de recursos hídricos (BARBOSA, 1997), devido, principalmente: a flexibilidade da técnica, a maior facilidade de entendimento, a capacidade de se tratar problemas de grande porte e a grande variedade e disponibilidade de pacotes computacionais. Entretanto, a maior limitação encontra-se na necessidade de haver relações lineares entre as variáveis, condição não atendida na maioria dos problemas em recursos hídricos.

Segundo Braga (1987), o exemplo pioneiro de aplicação de programação linear no planejamento de uso múltiplo da água é o plano Hibrace. Neste plano, contempla-se um sistema constituído de 31 reservatórios, entre existentes e projetados, para regularização e controle de recursos hídricos da região metropolitana de São Paulo.

Uma análise da aplicabilidade da programação linear, no plano de aproveitamento múltiplo de recursos hídricos na bacia do Alto Tietê - SP, foi realizada por Medeiros (1985). O estudo contemplava os diversos usos da bacia: o abastecimento de água, o saneamento, o controle de poluição, o controle de enchente, a irrigação e a geração de energia elétrica, visando atender a demanda da Grande São Paulo.

Moy et al. (1986) formularam um modelo de programação multiobjetiva linear inteira ou mista, incorporando a confiabilidade a *resiliência* e a *vulnerabilidade* como objetivos.

Posteriormente, Srinivasan et al. (1999), formularam um aperfeiçoamento do modelo, incorporando mais completa do indicador de desempenho *resiliência* e também, adicionaram um conjunto de restrições com a finalidade de identificar e controlar a água em excesso que verte pelo reservatório.

Francato e Barbosa (1996) apresentaram um estudo dos diferentes fatores que influenciam diretamente nos resultados fornecidos pelos modelos de otimização, com horizonte de planejamento anual e intervalo de discretização mensal, obtidos através de um modelo capaz de considerar todo o horizonte no processo de otimização. O modelo foi aplicado em um sistema que compreende as usinas hidroelétricas de Embarcação e Itumbiara, na bacia do Rio Paranaíba, utilizando sucessivas iterações da programação linear, contemplando todo o horizonte de planejamento.

Mohan e Raipure (1992) desenvolveram e aplicaram um modelo de programação linear multiobjetivo ao sistema de múltiplos reservatórios na bacia do rio Chaliyar, na Índia, visando encontrar as operações ótimas dos cinco reservatórios envolvidos. Com vistas na mitigação dos conflitos de uso da água para irrigação e geração de energia. Os objetivos eram a maximização de liberação para irrigação e a maximização de produção de energia, sujeitos a restrições sobre limitações físicas, ambientais e continuidade de armazenamento.

Feiring et al. (1998) aplicaram um modelo de programação estocástica em um sistema de fornecimento de água para irrigação e geração de energia. O ponto ótimo do sistema foi encontrado através da programação linear e a solução obtida através de decisões em múltiplos estágios. Essa aproximação permite que variáveis aleatórias sejam incorporadas no problema de programação linear.

Mousavi e Ramamurthy (2000) apresentaram duas técnicas potenciais para se otimizar sistemas de abastecimento de água grandes e complexos. Este modelo utiliza aplicações da teoria do controle ótimo e da programação linear de sucessivas penalidades. Foi feita uma comparação com um modelo existente de programação dinâmica que foi aplicado em um sistema de múltiplos reservatórios.

Loaiciga (2002), desenvolveu um modelo de otimização, utilizando técnica de programação linear, com o objetivo de quantificar o impacto da evaporação e das chuvas na capacidade ótima do reservatório e no desempenho de sistema. O modelo foi idealizado para reservatórios que sofrem intensos impactos da evaporação, permitindo a utilização de uma boa variedade de funções objetivo. O modelo foi testado, com sucesso, na bacia do Rio Santa Ynez, Califórnia-EUA.

Outras aplicações desta técnica, em recursos hídricos, podem ser vistas nos trabalhos de Hall e Dracup (1997), Loucks et al. (1981); Braga (1987); Kelman et al. (1989), Crawley e Dandy (1993). Em obras como as de Braga (1987) e Barbosa (1997) são apresentadas aplicações de PL usando-se de pacotes computacionais específicos para este caso, como o LINDO (Linear Interactive and Discret Optimizer), da Lindo Systems Incorporation, e o EXCEL, da Microsoft, referenciando-se outros pacotes computacionais de otimização como o MINUS e o GAMS.

4.3.2- PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

A Programação Dinâmica (PD) é um procedimento para otimização de processos de decisão em vários estágios, sendo usada extensivamente na otimização de sistemas de recursos hídricos (YEH, 1985). Segundo Braga (1997), a Programação Dinâmica é um método ideal para solucionar problemas que podem ser vistos como processos de decisão seqüencial em vários estágios, não significando que “estágio” seja necessariamente um intervalo de tempo, mas pode representar atividades, localidades, etc., sendo melhor entendido como ponto do processo no qual uma decisão deve ser feita.

Baseia-se a PD no princípio da *otimidade*, que implica um processo de decisão seqüencial no qual um problema envolvendo diversas variáveis é repartido numa seqüência de etapas mais simples, cada uma dessas envolvendo uma variável singular (Simonovic, 1992). A *otimidade* pressupõe que a política para os estágios remanescentes independe das políticas de decisão adotadas em estágios anteriores.

Devido à flexibilidade em representar sistemas complexos, esta técnica tem sido amplamente utilizada na busca de políticas operacionais de reservatórios, sendo recomendada para casos onde se tem um processo de decisão seqüencial em estágios. Um exemplo típico é a operação de um reservatório, onde o problema pode ser definido como a determinação da seqüência de armazenamentos a serem alocados no tempo. A PD se difere totalmente das demais técnicas de otimização, pois nela não existe um padrão de solução do problema. Segundo Braga (1983), a técnica é freqüentemente mal compreendida pelos iniciantes no assunto.

A grande limitação do uso dessa técnica está associada à dificuldade de tratar problemas hidrológicos complexos devido ao problema de dimensionalidade. Vários pesquisadores estudaram o problema da dimensionalidade, Mohammadi e Mariño (1984) apresentam alguns: Larson e Keckler (1969); Meredith (1975) e Tauxe et al. (1980).

As mais variadas formulações estão apresentadas em detalhes nos trabalhos de Yakowitz (1982), Yeh (1985) e Braga (1997). A Programação Dinâmica pode ser utilizada através de uma série representativa de vazões afluentes ou de condições hidrológicas reconhecidamente normal, seca ou úmida. Esta formulação leva em conta a estocasticidade do processo de forma implícita e o processo de cálculo é conhecido como determinístico (Programação Dinâmica Determinístico –PDD).

Drouin et al. (1996), utilizaram esta técnica para analisar a política ótima de um modelo de tempo descontínuo de um reservatório único usado para geração de energia. O problema foi modelado através do processo de decisão markoviano, com objetivo de maximizar a expectativa do rendimento total deduzido em um horizonte infinito. Embora o modelo seja desenvolvido para ser aplicado no contexto específico do controle de vazões em reservatórios, pode ser estendido aos casos de problemas estocásticos unidimensionais, onde aproximações lineares das várias variáveis foram utilizadas.

Mighalland et al. (1997) desenvolveram um método de gerenciamento de reservatórios através do ponto de vista bi-objetivo: uso da água para irrigação e geração de energia. O modelo utiliza a programação dinâmica estocástica, com intervalo de tempo diário, considerando valores anuais de dados históricos de vazão afluente ao reservatório, levando em conta as variáveis climáticas. O modelo produz curvas de troca de perdas de produção de energia contra, respectivamente, área irrigada, colheita obtida e benefícios agrícolas. Foi aplicado no reservatório de Bort, Vale de Dordogne - França., onde se observou que a eficiência econômica global é alcançada quando a irrigação é feita simultaneamente com a geração de energia, chegando a superar quando se priorizou a hidroeletricidade. Esse trabalho demonstrou que os métodos multiobjetivo de tomada de decisões são uma promissora ferramenta gerencial para sistemas hídricos.

Soares (1998) aplicou a Programação Dinâmica Estocástica (PDE) para obtenção da solução ótima do sistema hidroelétrico do rio São Francisco, na região nordeste do Brasil, com operação multiobjetiva: a geração de energia elétrica e o uso de água para irrigação. Os resultados foram analisados a partir das curvas de risco de perda de energia versus irrigação.

Trabalhos mais recentes, utilizando técnicas de Programação Dinâmica: Chandramauli e Raman (2001) desenvolveram um modelo de rede neural baseado em programação dinâmica (RNP) e aplicaram ao sistema “Parambikulan Aliyar Project”, localizado em Tamil Nadu e Kerala. Archibald et al. (2001), utilizaram a programação dinâmica para a determinação da política ótima de operação de hidrelétricas, onde o processo *markoviano* de decisão se mostrou bastante apropriado para a solução do problema. Lima e Lanna (2003), aplicaram um modelo conjunto de otimização (com programação dinâmica

incremental determinística com restrições) e simulação ao sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza.

4.3.3 - PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR

A Programação Não-Linear (PNL) não goza da popularidade que a Programação Linear e a Programação Dinâmica têm na análise de sistemas de recursos hídricos talvez, pelo fato da matemática envolvida nos modelos não-lineares é muito mais complicada do que nos casos de programação linear (YEH, 1985). Uma característica comum nos problemas de engenharia é a não linearidade observada nos modelos matemáticos utilizados para representar os processos em questão. Para solução deste problema, surgiu na década de 50, a técnica de PNL, com utilização pioneira de Kuhn e Tucker apud Cirilo (1997).

Segundo Cirilo (1997), a grande vantagem de PNL é a sua abrangência, oferecendo uma formulação matemática mais geral, não necessitando de simplificações o que, uma vez elaborado o modelo matemático que descreve o sistema a otimizar, aumenta a precisão nos resultados a serem alcançados. Como desvantagens, destaca-se a incerteza de que em muitos casos, a solução ótima obtida não ser global devido a não linearidade dos problemas e a já citada necessidade de um grande tempo de processamento na busca da solução ótima. O desenvolvimento crescente dos recursos computacionais, embora o artifício da linearização ainda seja bastante utilizado, vem facilitando a aplicação da PNL na prática de problemas de recursos hídricos, sendo já extensivamente tratada na literatura (SIMONOVIC, 1992).

Sylla (1995), apresentou um modelo utilizando a técnica de programação não-linear determinística de grande escala, para o planejamento de operação de múltiplos reservatórios localizados na Bacia do Rio Senegal - África, visando o fornecimento de água para abastecimento, geração de energia e navegação. A busca da solução foi feita através do método das penalidades e o problema resultante com restrições lineares foi resolvido com grande eficiência através de técnicas de redução do gradiente, utilizando a estrutura especial da matriz complexa.

Francazo et al. (2000), estudaram a operação otimizada do sistema da Bacia do Rio Paranaíba, contemplando as usinas: de Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, Cachoeira Dourada e São Simão, localizadas na região Sudeste do Brasil. A otimização foi feita de forma global, determinando as vazões a serem liberadas a cada mês e os consequentes armazenamentos, cuja função objetivo visava minimizar os vertimentos resultantes das políticas operacionais ao longo do horizonte de planejamento.

O modelo de otimização ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program), Curi e Curi, (1999), é baseado em programação não-linear, que trabalha a nível mensal. Barbosa et al. (2001), utilizaram este modelo para estudar o comportamento da operação de um sistema de 3 reservatórios em paralelo sujeitos a usos múltiplos, localizados na Bacia do Capibaribe, no estado Pernambuco. Também fizeram uso do modelo Andrade et al. (2001), para determinar a operação ótima de um sistema hídrico formado por 2 reservatórios em série e 3 perímetros de irrigação, localizados na Bacia do Capibaribe, em Pernambuco. O processo de otimização foi resolvido numericamente, através de programação não-linear, contemplando uma função objetivo para a maximização da receita líquida anual advinda da agricultura irrigada, avaliando-se também o retorno financeiro da piscicultura extensiva nos reservatórios. Todos os requerimentos de ordem legal, sócio-econômicos e de sustentabilidade hídrica, além das restrições físicas e condições climáticas foram considerados no modelo. Foi utilizado acoplado a modelos de otimização de áreas irrigadas e usos de água para piscicultura, controle de cheias e abastecimento urbano, com resultados bastante satisfatórios quando aplicado a esta classe de problemas.

O ORNAP, em todos os experimentos, se mostrou eficaz, pois os resultados alcançados são um interessante subsídio para o processo decisório e também eficientes, razão de serem obtidos com baixos custos computacionais.

4.4 - COMBINAÇÃO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

A técnica de simulação, pelos aspectos vantajosos apresentados anteriormente, é indubitavelmente, a técnica mais comumente usada na avaliação do desempenho de sistemas de múltiplos reservatórios bem com em operação e planejamento. Dandy et al. (1997) compararam quatro diferentes métodos de avaliação do rendimento do sistema de múltiplos reservatórios de abastecimento de água de Canberra – Austrália. Os métodos utilizados foram: a) modelo de simulação; b) modelo combinado de otimização/simulação (WATHNET, Kuczera, 1990); c) modelo de otimização e d) modelo de otimização simplificado, denominado “yield”. Os resultados mostraram que os modelos (c) e (d), por considerarem afluentes futuras, forneceram estimativas mais elevadas do rendimento do sistema, enquanto que o modelo combinado (b), apresentou regras de operação aplicáveis na prática.

Embora se acredite que um modelo de simulação fornece a melhor estimativa do rendimento de um sistema de múltiplos reservatórios, isto não é necessariamente verdade,

pois o rendimento do sistema depende das regras de operação adotada. Vários são os modelos que utilizam não só a simulação como também a otimização.

Os modelos que misturam características dos modelos de simulação e otimização e são conhecidos como Modelos de Rede de Fluxo. Alguns exemplos de modelos desse tipo são SIMYLD-II (Texas Water Development), MODSIM (LABADIE et al., 1984), (SIGVALDASON, 1976), IRAS (1994) e MIKE BASIN (2.000).

Existem vários modelos de suporte a decisão que utilizaram técnicas de simulação e otimização desenvolvidos e aplicados para o planejamento e a gestão de recursos hídricos em diversas bacias hidrográficas, alguns citados nesta pesquisa.

AQUATOOLL (ANDREU et al., 1996), desenvolvido para o planejamento de decisões em bacias hidrográficas complexas. O modelo apresentando módulo de simulação de bacias, de otimização, de águas subterrâneas e dois módulos de análise de risco.

O Sistema WATERWARE, derivado do Eureka EU 487, foi desenvolvido por Jamieson e Fedra (1996), para gerenciamento de bacias hidrográficas. Foi utilizado nas bacias do Rio Tâmbisa (Inglaterra), para um ajuste no planejamento do uso das águas subterrâneas e, do Rio Lerma (México), cujo objetivo era minimizar o desperdício no sistema de abastecimento, destacando-se o atendimento a irrigação.

Stam et al. (1998) desenvolveram um Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento do reservatório do lago Kaliba, quarto maior lago artificial do mundo, localizado na África. O sistema considera características relevantes do reservatório e outros parâmetros, tais como: o montante de energia elétrica gerada, o armazenamento no reservatório ao longo do ano e o montante de água liberada pelo reservatório.

Azevedo et al. (1998) desenvolveram e aplicaram no sistema Cantareira, na bacia do rio Piracicaba –SP, um Sistema de Suporte a Decisão que combina o modelo de qualidade de água (QUAL2E) e o modelo de simulação de rede de fluxo (MODSIM), para solução no tratamento de efluentes urbanos e industriais.

O sistema DROP (STAHL e ELLIOTT,1999), foi aplicado na análise de conflitos de uso das águas nas regiões de Essex e Suffolk, no Reino Unido, onde vivem cerca de 2 milhão de pessoas e cuja pluviometria média anual gira em torno de 110 mm.

O sistema RIVERWARE (ESCHENBACH et al., 2001) é uma ferramenta flexível de modelagem de bacia hidrográfica que permite simular e otimizar o gerenciamento de sistemas de reservatórios de múltiplos objetivos para operações diárias.

O Sistema CTIWM (ITO et al., 2001), foi desenvolvido para integrar os processos hidrológicos e avaliar os riscos associados às alternativas de planejamento de recursos

hídricos. O sistema apresenta como principais objetivos: organizar e processar dados de vazão e de demanda de água, simular operação de reservatórios, estimar precipitação média e escoamento na bacia e executar análises de riscos para o planejamento a médio e curto prazo. Foi aplicado na bacia hidrográfica do Rio Chikugo – Japão.

Belaineh al. (1999) apresentaram um modelo de simulação/otimização que integra regras de decisão linear de reservatório, testando as hipóteses que melhoram a representação de interações de escoamento superficial/aquífero dentro do modelo para um sistema de distribuição reservatório-aquífero-rio.

4.5 – SISTEMAS INTEGRADOS (MODELOS DE REDE DE FLUXO)

Nos modelos de rede de fluxo, os sistemas são representados por uma malha formada de “nós”, que representam os reservatórios, demandas, retorno da água, confluências e outros pontos importantes e, por “arcos”, que são os elos de ligação entre os nós e representam trechos de rio, adutoras, canais e outras estruturas hídricas semelhantes. Apresentam como principal característica, a possibilidade de reunir a flexibilidade inerente das técnicas de simulação e a possibilidade de restrição do espaço decisório a um conjunto de soluções viáveis, que podem ser analisadas através de técnicas de otimização, sendo portanto, uma importante ferramenta que permite, na grande maioria dos casos, representar um sistema de recursos hídricos, de forma adequada e flexível.

Dentre os modelos de simulação que representam os sistemas hídricos em redes de fluxo, pode-se citar o MODSIM, como um modelo versátil, bem documentado e testado em uma ampla variedade de situações. O Modelo foi desenvolvido na “*Colorado State University*” por John Labadie, em 1984.

Segundo Azevedo et al. (1998), o modelo é capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas, podendo também ser usado para avaliar compromissos “*trade-offs*” entre usos conflitantes da água durante períodos de críticos de escassez de água, sendo bastante utilizado como uma ferramenta de Suporte a Decisão. Diversas versões do modelo foram aplicadas em estudos de gerenciamento de sistemas em várias bacias hidrográficas, dentre eles: Grahan et al. (1986) utilizaram o modelo na bacia do rio Grande, Labadie et al. (1986) aplicaram o modelo na bacia do rio Poudre no Colorado (EUA), Law e Brown (1989) estudaram a bacia do alto rio Colorado, e Frevert et al. (1994) aplicaram o MODSIM na bacia do rio “*Upper Snake*”.

O modelo tem capacidade de otimizar a operação do sistema através de um algoritmo de rede de fluxo, denominado “out-of-kilter” (OKM). Algoritmo de programação

linear primal-dual que foi desenvolvido especialmente para solução eficiente de problema de minimização de custo em redes de fluxo, realizando uma otimização em rede para atender metas operacionais de modo seqüencial em cada intervalo de tempo, em vez da forma plenamente dinâmica (AZEVEDO et al., 1998).

A versão MODSIM P32, é uma versão atualizada do modelo MODSIM, com uma interface amigável desenvolvida na Escola Politécnica da USP, seguida da versão MODSIM LS e, AQUANET, como denominação atual do modelo.

Diversos pesquisadores utilizaram o MODSIM para desenvolvimento de SSD para gerenciamento de sistemas de recursos hídricos: Azambuja (2000), na bacia do Rio Piracicaba-SP; Porto et al. (2000), no gerenciamento da operação dos grandes sistemas produtores da SABESP, Região Metropolitana de São Paulo; Azevedo e Porto (2000), na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundial, São Paulo; Lisboa et al. (2001), nas bacias dos Rios Paraguaçu e Itapicuru, na Bahia; Lima e Lanna (2003), no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Fortaleza.

Outro modelo de rede de fluxo bastante utilizado para apoiar o planejamento e gerenciamento de sistemas de recursos hídricos é o IRAS (Interactive River-Aquifer Simulation), desenvolvido pela Resources Planning Associates (INC) e pela Cornell University, Ithaca, NY. As potencialidades do modelo tornaram-no atraente para as análises hidrológicas de sistema de abastecimento de água para consumo humano, produção de energia, irrigação ou sistemas de usos múltiplos (MAUAD e ALBERTIN, 2003).

Algumas aplicações: Bennet et al (1994), aplicaram o modelo na bacia hidrográfica do rio Raritan, em New Jersey (USA), com os objetivos de: uso integrado de águas superficiais e subterrâneas, a manutenção da vazão mínima no rio Raritan e o planejamento estratégico para garantia das demandas futuras de abastecimento de água. Mauad (2000), utilizou o modelo IRAS para analisar o confronto de usos múltiplos de água no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva, Portugal. O modelo foi também utilizado para determinar os índices: *resiliência, confiabilidade e vulnerabilidades* do sistema para as diversas hipóteses de uso da água.

O MIKE BASIN é outro modelo de rede de fluxo, que opera conjuntamente com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), através do software ArcView. O modelo foi desenvolvido pelo DHI (Danish Hydraulic Institute) da Dinamarca. O modelo pode realizar, dentre outras atividades: análise de disponibilidade da água (integração águas superficiais e subterrâneas com otimização), planejamento de infra-estrutura (potencial de irrigação, capacidade de abastecimento de água, exigências para tratamento de águas residuais), análise multiobjetivas (uso doméstico, industrial, agricultura, geração de energia, etc) e estudos de

ecossistemas (qualidade da água, vazões mínimas, desenvolvimento sustentável, etc). A otimização do modelo é realizada com a integração com a função SOLVER do Excel

Algumas aplicações são encontradas na literatura, dentre elas: Lima (2002), na análise do conflito entre os usos múltiplos da água na bacia do Rio Atibaia, São Paulo. Foi analisado principalmente o impacto gerado no abastecimento da região pela reversão de enorme quantidade de água para o Sistema Cantareira. Mauad et al. (2003a), na determinação dos índices probabilísticos de atendimento as demandas na bacia do Rio Paraíba do Sul; Mauad et al. (2003b), na avaliação quantitativa e qualitativa do sistema de recursos hídricos e Mauad et al. (2003c), na análise de conflitos na bacia do rio Sapucaí-Mirim, na Grande São Paulo.

CAPÍTULO V

METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO DO SISTEMA

5.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A revisão bibliográfica realizada neste trabalho mostra que várias são as metodologias que podem ser aplicadas na análise de sistemas de reservatórios. Entretanto, é consenso de que não existe uma metodologia consagrada que possa ser utilizada para todas as situações (LIMA, 2000). A aplicação de uma metodologia universal em um caso particular exigiria que fossem feitas várias hipóteses simplificadoras, que poderiam causar grande distanciamento entre o modelo e o sistema real.

A escolha da metodologia a ser adotada para o estudo do sistema dependerá, portanto, de vários fatores, dentre eles: i) da configuração do sistema a ser analisado (número de reservatórios e suas interligações), ii) os tipos de uso dos recursos hídricos do sistema; iii) do estágio de aplicação (diagnóstico e planejamento) e iv) dos cenários (padrão de afluência, operação do sistema, prioridades de atendimento das demandas, volumes meta dos reservatórios, etc). Vale ressaltar o fato de que, para o mesmo sistema, diferentes metodologias podem gerar resultados de qualidade idêntica, sendo, portanto, a escolha baseada na experiência e/ou nos objetivos do próprio autor da pesquisa.

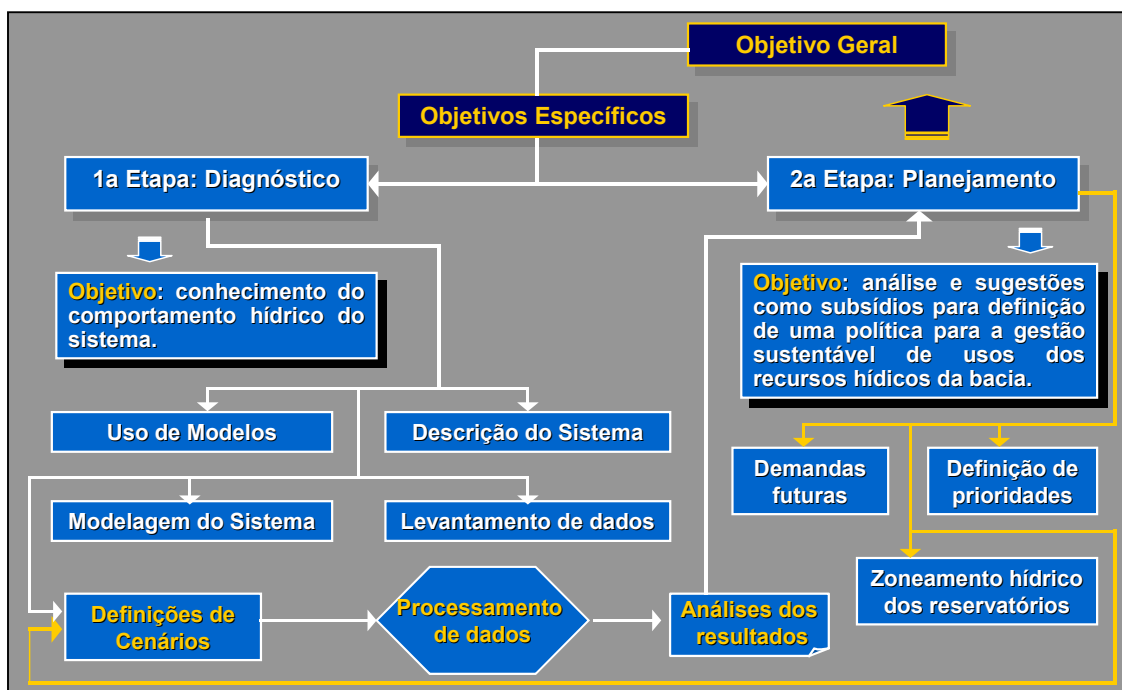
O objetivo principal desta pesquisa é analisar o comportamento hídrico do sistema para os diversos cenários pré-estabelecidos e sugerir diretrizes para utilização das disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água de forma integrada e sustentável, seguindo as atuais tendências de pesquisas dos modelos de planejamento e operação de sistemas de reservatórios. Fazer uso dos conceitos de otimização e simulação na tentativa de fornecer aos planejadores respostas mais confiáveis, capaz de subsidiar o planejamento de ações de uma política de gestão de águas para a bacia do Rio Piancó.

Otimizar o uso da água de um reservatório significa, neste caso, encontrar um valor ótimo de alocação para diversos usos (abastecimento, irrigação, piscicultura, perenização do rio e geração de energia). A otimização do uso da água do sistema hídrico a ser estudado não representa uma tarefa fácil, pois se trata de um sistema bastante complexo, formado por vinte e quatro reservatórios superficiais e seis perímetros irrigados, que envolve um grande número de variáveis para representar o mesmo.

A metodologia a ser aplicada neste projeto será composta de duas etapas: primeira etapa, estudo do comportamento hídrico do sistema, definida como *Diagnóstico* e segunda

etapa, estudo de alternativas ótimas para os usos múltiplos do sistema, definida como *Planejamento*. A primeira trata do conhecimento do sistema, composta das seguintes fases: descrição do sistema, dados do sistema, modelagem do sistema, os modelos utilizados e definições de cenários e situações para o estudo. Na segunda etapa serão abordados cenários futuros das demandas para o horizonte de 20 anos (ano 2023), onde serão propostas operações dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água de forma sustentável, sugerindo alternativas para os usos múltiplos do sistema, visando a compatibilização dos diversos usos da água de jusante e a montante. Na Figura 5.3 está representado o escopo geral da estrutura para o estudo do referido sistema.

Figura 5.3 – Escopo geral para o estudo do sistema Coremas-Mãe D'Água

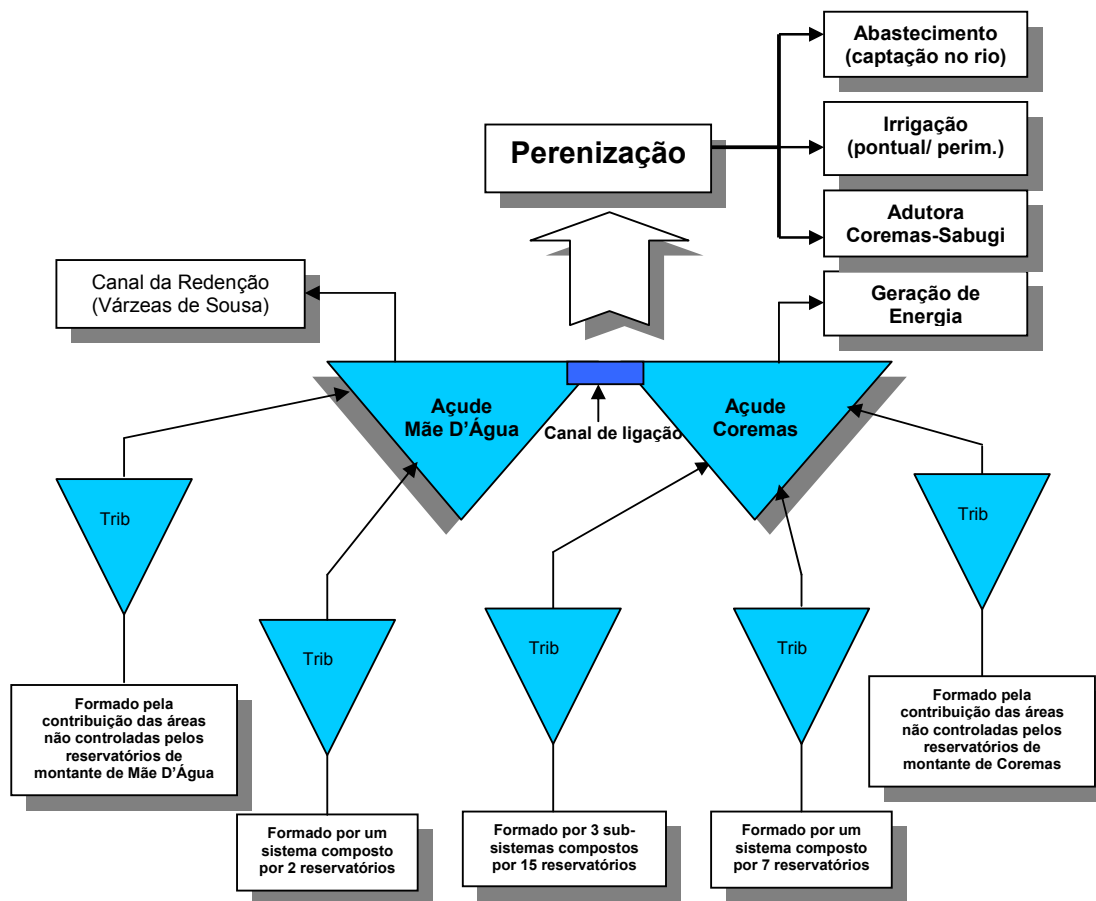


5.2 – CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DO SISTEMA

5.2.1 – O SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA

O esquema do sistema estudo é formado pelos reservatórios Coremas-Mãe D'Água e por quatro grandes contribuições a eles interligados: tributário-01 (Aguiar), o Tributário-02 (Piancó), o Tributário-03 (Emas) e seus reservatórios e o Tributário-04, formado pelas áreas não controladas por reservatórios, conforme esquema mostrado na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Esquema do Sistema Coremas-Mãe D'Água



5.2.2 – OS RESERVATÓRIOS COREMAS E MÃE D'ÁGUA

O açude Mãe D'Água barra o rio Aguiar e o açude Estevam Marinho (Coremas) barra o rio Piancó. Os reservatórios foram construídos próximos, formando um único lago com uma superfície líquida de $115,6 \times 10^6 \text{ m}^2$, na cota de repleção máxima e estão interligados entre si através de um canal vertedor de cota 237m, com capacidade para transportar uma vazão máxima de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Os reservatórios foram construídos nas décadas de 30 e 50, tem sido construídos primeiramente o reservatório Coremas, com início da obra em 1939 e conclusão em 1942. O início e conclusão da obra do reservatório Mãe D'Água foram, respectivamente, os anos de 1953 e 1956. Os reservatórios foram construídos para as finalidades de: perenização dos vales, controle de cheias, irrigação, piscicultura, aproveitamento de culturas nas áreas de montante, abastecimento de água para as populações urbanas e geração de energia. O açude Coremas é responsável pela geração de energia elétrica e regularização de vazão do Rio Piancó, através da vazão que passa pelas turbinas da hidroelétrica, que por sua vez, irá suprir todas as demandas de jusante do sistema, com exceção das demandas do Canal

da Redenção, que sai diretamente do açude Mãe D'Água na cota 230,785m (neste estudo foi considerada na cota 231m). Detalhes do sistema estão representados no documento fotográfico da Figura 5.5.

Figura 5.5 – Documento fotográfico do sistema Coremas-Mãe D'Água



Foto 1 – Lago formado pelos reservatórios



Foto 2 – Ponte sobre o Canal de ligação



Foto 4 – Tomada D'água - reservatório Coremas



Foto 5 – Sangrador do reservatório Mãe D'Água

A usina de Coremas, a jusante do reservatório Estevam Marinho foi concluída em 1959, foi repassada pelo DNOCS a Companhia Hidroelétrica de São Francisco (CHESF), em janeiro de 1969. Esta usina está interligada ao sistema CHESF, através da linha de transmissão LT-69 KV (sistema SAELPA e COELCE), proveniente da subestação Milagres, no estado de Ceará. Detalhes desta Usina estão mostrados no documento fotográfico da Figura 5.6.

Os principais dados técnicos e características da usina são:

Dados técnicos da Usina de Coremas:

- Início da operação (CHESF) 1969
- Potência instalada 3,52 MW
- Quantidade de unidades geradoras 02

- a. início da operação OGG1 01/57
- b. início da operação OGG2 11/59
- Cota de jusante máxima operativa 204,20 m
- Cota de jusante mínima operativa 203,30 m
- Cota da soleira de descarga 201,90 m
- Cota mínima para geração (adotada) 223,0 m
- Descarga média regularizada 6,0 m³/s

Figura 5.6 – Documento fotográfico da usina de Coremas



Foto 1 – Vista da entrada da usina

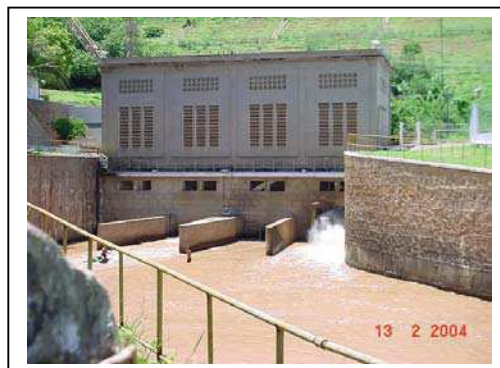


Foto 2 – Descarga do sistema para o rio Piancó



Foto 4 – Sub-estação de transmissão de energia



Foto 5 – Tubulação de entrada nas turbinas

Principais características:

1. Turbinas:

- Quantidade 02
- Tipo Francis espiral

Queda útil (m)	Máxima (41,0)	Nominal (32,5)	Mínima (19,0)
Vazão (m ³ /s)	7,3	6,85	5,45
Rotação (RPM)	514	514	514
Potência (CV)	3.400	2.650	1.175
Rendimento (%)	90	88	--

Fonte: CHESF

2. Geradores:

- Número de geradores 02
- Potência nominal 1,76 MW
- Tensão nominal 2,40 KV

O reservatório Mãe D'Água é responsável pelo abastecimento hídrico das demandas de irrigação das Várzeas de Sousa (5.000 ha), estimada em $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a ser transportada pela principal obra hidráulica do estado, o Canal da Redenção, que parte deste reservatório e percorre uma extensão total de 37 km até atingir os municípios de Sousa e Aparecida, onde está localizado o referido perímetro irrigado. O documento fotográfico apresentado na Figura 5.7 mostra detalhes desse perímetro irrigado.

Figura 5.7 – Documento fotográfico do perímetro Várzeas de Sousa e Canal da Redenção



Foto 1 – Estação de bombeamento do perímetro irrigado Várzeas de Sousa



Foto 2 – Reservatório de acumulação

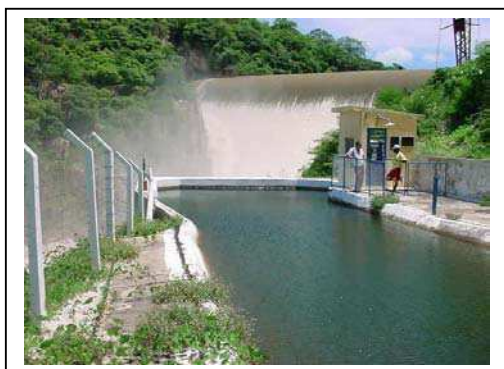


Foto 4 – Tomada d'água do Canal da Redenção no reservatório Mãe D'Água



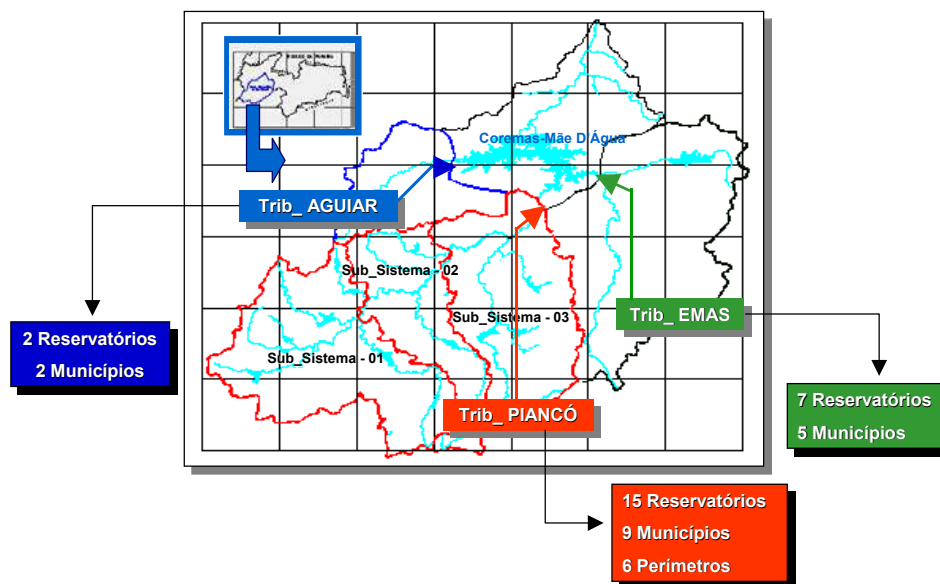
Foto 5 – Chegada do Canal ao perímetro

5.2.3 - OS TRIBUTÁRIOS E OS SUB-SISTEMAS

O sistema é composto de quatro grandes entradas de vazões, advindas de 24 principais reservatórios identificados na bacia, denominados de tributários (Figura 5.8), descritos como se segue:

- Uma entrada da sub-bacia do reservatório Mãe D'Água, rio Aguiar (Tributário-01), abrangendo uma área de contribuição de 63,34 Km², através da contribuição dos reservatórios Cochos e Frutuoso II, com capacidades máximas de acumulação de 4,20 hm³ e 3,52 hm³, respectivamente; e
- Duas entradas pela sub-bacia do reservatório Coremas, rio Piancó, abrangendo uma área total de 3.372,80 Km², através da contribuição dos tributários Piancó (02) e Emas (03).

Figura 5.8 - Tributários e sub-sistemas da bacia do rio Piancó.



5.2.3.1 - TRIBUTÁRIO-02 (PIANCÓ)

Abrange uma área de contribuição total de 2.167,73 Km², formado de três sub-sistemas:

- **sub-sistema 1:** compreende uma área de contribuição de 1.089,06 Km², composta por 8 principais reservatórios: Vazante, Vídeo, Piranhas, Serra Vermelho I, Condado, Santa Inês, Catolé e Poço Redondo, juntos acumulando um volume máximo de 173,51 hm³;

- **sub-sistema 2:** compreende uma área de contribuição de 340,90 Km², composta por 2 principais reservatórios: Cachoeira dos Alves e Bruscas, que juntos chegam a acumular um volume máximo de 48,81 hm³;
- **sub-sistema 3:** compreende uma área de contribuição de 737,77 Km², composta por 5 principais reservatórios: Saco de Nova Olinda, Canoas, Queimadas, Tavares e Jatobá II, com acumulação máxima total de 162,91 hm³;

5.2.3.2 - TRIBUTÁRIO-03 (EMAS)

Abrange uma área de contribuição de 1.064,69 Km², envolvendo 3 principais reservatórios: Jenipapeiro (e seus 4 reservatórios de montante), Garra, Cachoeira dos Cegos e Emas, com acumulações máximas de 70, 29, 80 e 2 hm³, respectivamente.

5.2.3.3 - TRIBUTÁRIO-04 (Área não controlada por reservatórios)

Compreende a quarta entrada do sistema, formada pela contribuição da área de 5.289,40 Km² da bacia não controlada do sistema Coremas-Mãe D'Água, sendo que, 1.047,53 Km² (19,8%) provem da área não controlada pelo açude Mãe D'Água e 4.241,87 Km² (80,2%), provem da área não controlada pelo açude Coremas. Essas parcelas correspondem à contribuição direta da diferença entre a área total da bacia hidrográfica do sistema e as áreas de sub-bacias de contribuição dos reservatórios dos tributários.

Na Tabela 5.7, estão as áreas dos tributários com os respectivos percentuais da área total da bacia do sistema Coremas-Mãe D'Água.

Tabela 5.7 - As áreas de contribuição dos tributários e respectivos percentuais

Tributários	Área (Km ²)	Percentual da área total
Tributário -01(controlada)	63,34	0,73%
Tributário -02(controlada)	2.167,73	24,91%
Tributário -03 (controlada)	1.179,87	13,56%
Tributário -04 (não controlada)	5.289,40	60,80%
Total	8.700,34	100,00%

5.3 – MODELAGEM DO SISTEMA

5.3.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

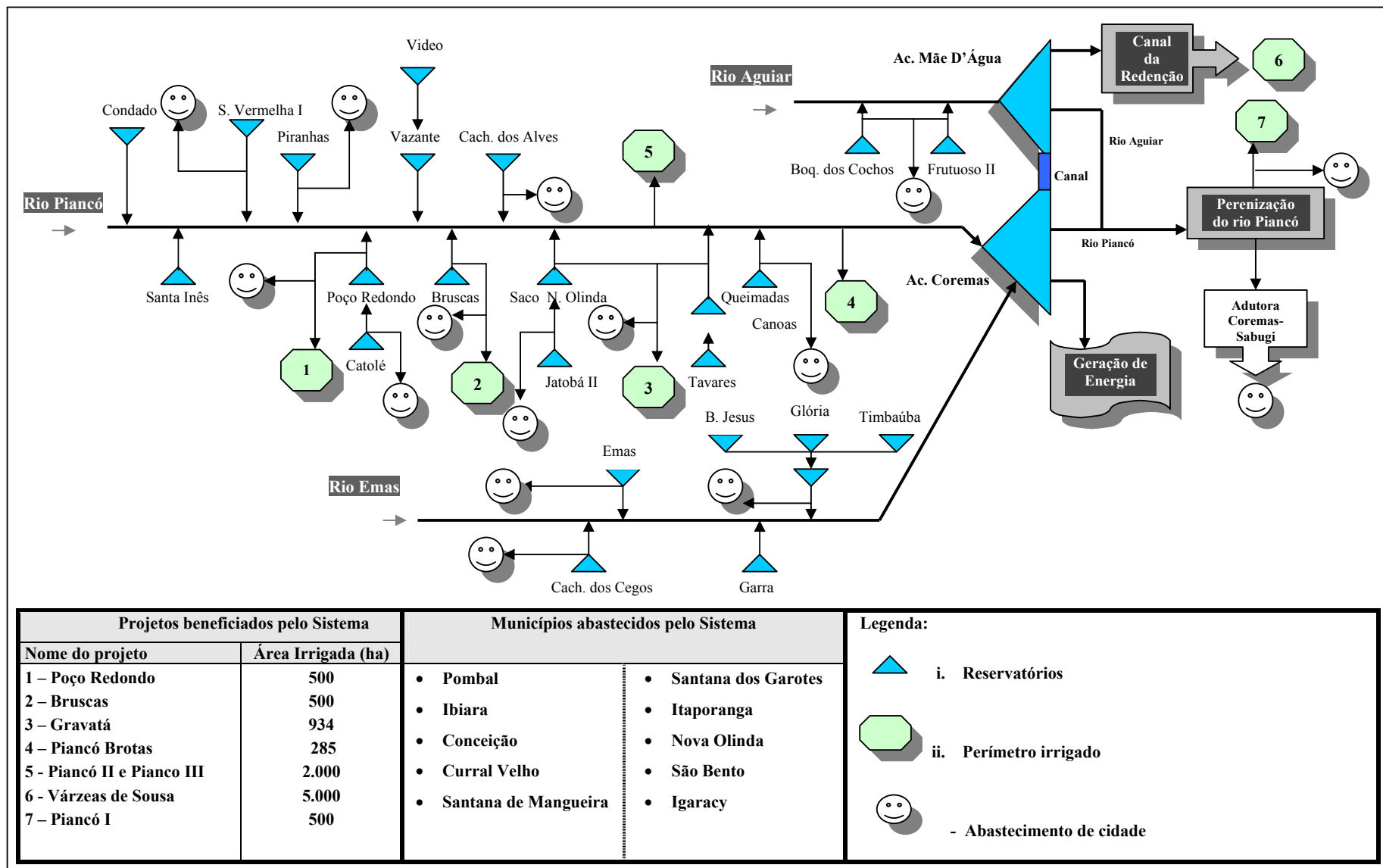
Segundo Lanna (1997, p.15), “a análise de sistema de recursos hídricos é uma técnica de solução de problemas complexos de engenharia de recursos hídricos a partir da abordagem sistêmica e de usos de técnicas computacionais agregadas à modelagem matemática de sistema de recursos hídricos”. A engenharia de recursos hídricos está relacionada com decisões do ponto de vista da infra-estrutura hídrica do sistema que, de uma maneira geral, tenta compatibilizar os padrões qualitativos e quantitativos das disponibilidades com as da demandas, através de alterações desses padrões, seja com soluções locais ou através de importação de outros sistemas. As questões relacionadas com disponibilidades de água, as demandas hídricas, sustentabilidade, as questões de conflitos de uso (principalmente entre demandas de montante versus demandas de jusante) e os usos múltiplos, como decorrente do processo natural de desenvolvimento econômico, são questões relacionadas com a infra-estrutura hídrica.

A abordagem sistêmica, no caso da bacia do Piancó, está representada na Figura 5.9, onde se pode observar os diversos elementos envolvidos na avaliação das disponibilidades hídricas: reservatórios, projetos de irrigação, abastecimento de cidades, perenização de rio, geração de energia, etc, na busca de solução (compatibilização) para os diversos usos (montante e jusante) do sistema.

A formulação matemática busca descrever a dinâmica do sistema pela utilização de vários tipos de equações matemáticas (LANNA, 1997, p.29), geralmente se recorrendo a equação do balanço hídrico, cujo princípio está baseado no princípio de conservação da massa. Associados a essa dinâmica estão incorporadas às expressões limitantes do sistema, chamadas de *restrições* (físicas, operacionais, condicionais, etc), as *funções objetivo*, que estabelecem forma de valorização dos resultados do processo decisório. Esses processos serão descritos na seção 5.4, na definição dos modelos utilizados.

Com relação, as técnicas utilizadas neste estudo, estruturado em duas etapas, para a análise do sistema hídrico Coremas-Mãe D'Água foram: *simulação do comportamento hídrico* do sistema (primeira etapa) e *alternativas para o processo decisório* (segunda etapa). Na primeira fase foram estabelecidos cenários e situações ao sistema e utilizados modelos que envolvem as técnicas de simulação e otimização: MODSIM P32 (LABADIE, 1989), SimCOMA (desenvolvido nesta pesquisa) e ORNAP (CURI e CURI, 1999), de forma a se obter o comportamento hídrico do sistema nos seguintes aspectos:

Figura 5.9 - Estrutura do sistema hídrico para a simulação.

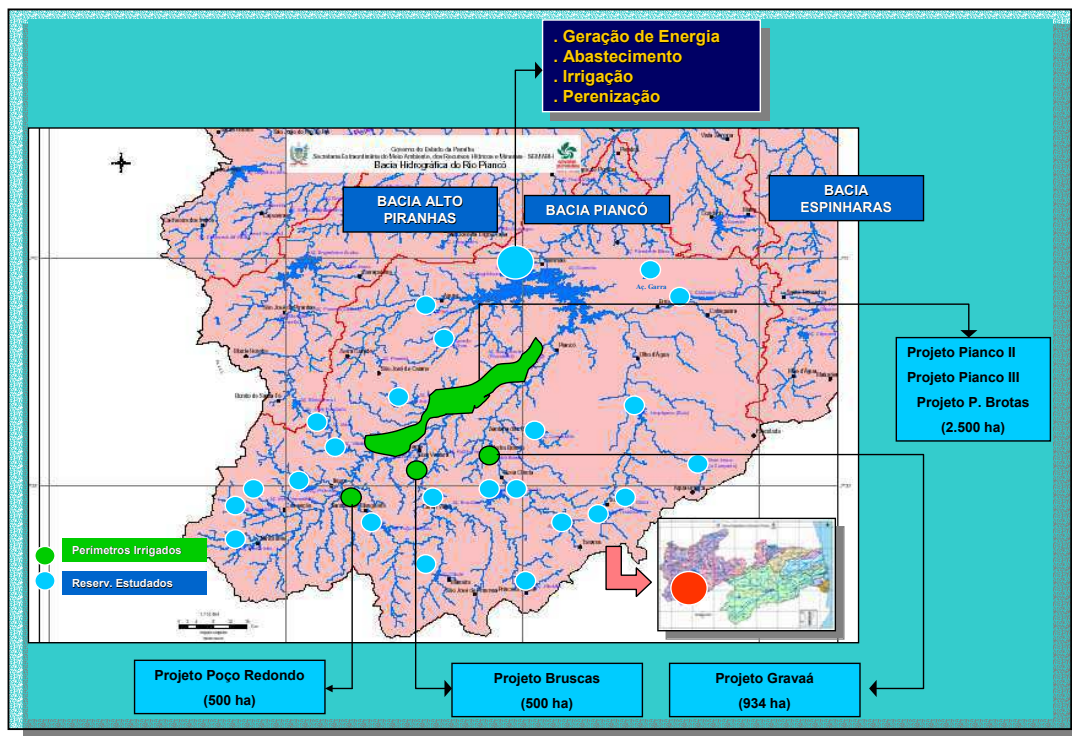


- Influência das conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água;
- Importância dos vertimentos dos reservatórios de montante do tributário Piancó sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água;
- Os percentuais de contribuição dos vertimentos dos reservatórios de montante e da área não controlado pelos reservatórios de montante deste sistema;
- Análise das retiradas de água diferenciadas dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e suas influência sobre as disponibilidades deste sistema;
- Análise das cotas mínimas de operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e suas influência sobre as disponibilidades hídricas deste sistema;
- Análise da interferência das irrigações de montante sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água; e
- Análise do efeito do rebaixamento do canal de ligação dos reservatórios sobre as disponibilidades hídricas do referido sistema.

Na segunda etapa, buscou-se alternativas para propostas de uso das disponibilidades hídricas do sistema, através do uso da técnica da *otimização por enumeração* (LANNA, 1997, p.33), foram utilizados os modelos de simulação MODSIM P32 e SimCOMA e, através de exaustivas simulações, para diversos cenários e situações buscou-se identificar a solução ótima ou próximo dela. Para a compatibilização entre as demandas de montante e demandas de jusante, utilizou-se o modelo MODSIM P32, na modalidade planejamento tático, estabelecendo-se prioridades e critérios de atendimentos das demandas, zoneamento hídrico e volumes metas para os reservatórios. No Capítulo VII estão descritos os cenários e situações estabelecidas para o estudo do sistema nas duas etapas de trabalho.

Na Figura 5.10 está representada a dinâmica do sistema considerada na modelagem. Para referida modelagem, dividiu-se o sistema em dois segmentos: tributários e sub-sistemas de montante e os reservatórios Coremas-Mãe D'Água, cujos detalhes serão descritos a seguir.

Figura 5.10 - Representação da dinâmica do sistema Coremas-Mãe D'Água



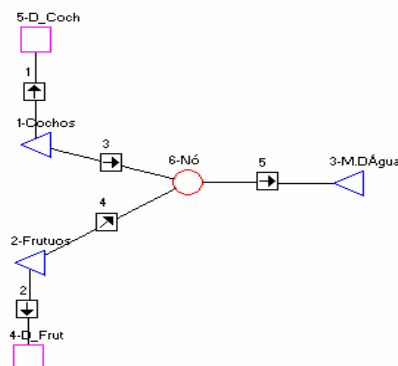
5.3.2 – TRIBUTÁRIOS E SUB-SISTEMAS

5.3.2.1 – TRIBUTÁRIO - 01 (Aguiar)

O Tributário Aguiar se refere à parte do sistema que contribui diretamente para o açude Mãe D'Água, através do Rio Aguiar, com uma área total de 1.110,87 Km², dos quais 63,34 Km² são controlados pelos dois principais reservatórios: Boqueirão dos Cochos e Frutuoso II. O restante da área faz parte do Tributário 4, referente à área não controlada pelos reservatórios de montante. Os referidos reservatórios abastecem a cidade de Iguaracy para a demanda hídrica considerada de 1.188 m³/dia, segundo dados da Agência de Água, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba (AAGISA). As retiradas atuais de água nesses reservatórios estão relacionadas abaixo:

- Boqueirão dos Cochos $q = 0,009 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Frutuoso II $q = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$.

O esquema de simulação desse tributário está representado na Figura 5.11, e os dados relacionados com os reservatórios estão mostrados na Tabela 5.8.

Figura 5.11 - Esquema para simulação do Tributário Aguiar no modelo MODSIM P32**Tabela 5.8** - Dados técnicos dos reservatórios do Tributário Aguiar

Reservatório	Volumes (hm ³)		Bacia hidrográfica (km ²)	Bacia hidráulica (ha)
	Max	Min		
B. dos Cochos	4,20	2,0	56,50	116,00
Frutuoso II	3,52	0,17	12,5	63,97

5.3.2.2 – TRIBUTÁRIO – 02 (PIANCÓ)

Este tributário é composto de 15 reservatórios que juntos controlam aproximadamente 25% de toda área de drenagem da bacia do sistema e detêm uma disponibilidade hídrica de 385,23 milhões de metros cúbicos, distribuídos em 3 sub-sistemas, conforme descritos a seguir. Este será o tributário alvo desse estudo, onde serão avaliadas suas disponibilidades de forma mais detalhada com uso de modelo de otimização ORNAP (CURI e CURI, 1999), descrito na seção 5.4.2, de forma a obter os usos múltiplos otimizados dessas disponibilidades.

Na avaliação do potencial hídrico desse tributário, foram avaliados os sub-sistemas individualmente, de forma a se obter as vazões máximas a serem fornecidas de um sub-sistema para o outro e desses para os reservatórios Coremas-Mãe D'Água. Os dados utilizados em cada sub-sistema serão descritos a seguir.

5.3.2.2.1 – SUB-SISTEMA -01

O principal dos três sub-sistemas analisados, possui a maior área de contribuição 1.089,06 Km² e 8 reservatórios, sendo, 7 principais e um de montante, açude Catolé, totalizando um volume máximo acumulável de 173,51 x 10⁶ m³. As vazões de retiradas para abastecimento urbano desses reservatórios, segundo dados da AAGISA, atualmente, são:

- Piranhas $q = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Serra Vermelha I $q = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Poço Redondo $q = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Catolé $q = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$;

O esquema de simulação está representado na Figura 5.12 e os dados relacionados com os reservatórios estão apresentados na Tabela 5.9.

Figura 5.12 - Esquema para simulação do Sub-Sistema-01 no modelo MODSIM P32

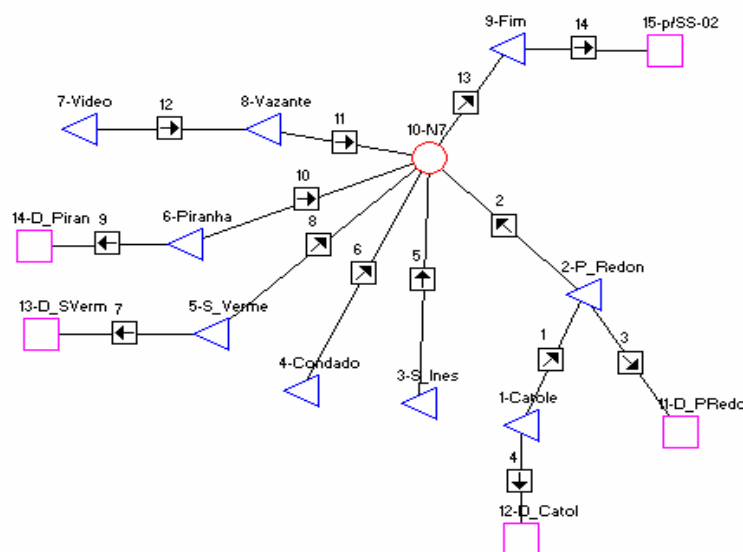


Tabela 5.9 - Dados técnicos dos reservatórios do Sub-Sistema-01

Reservatório principal	Volumes (hm ³)		Bacia hidrográfica (km ²)	Bacia hidráulica (ha)
	Máximo	Mínimo		
Video	6,04	0,3	23,44	108,50
Vazante	9,09	0,45	118,83	133,80
Piranhas	25,69	1,28	199,59	234,20
Serra Vermelha I	11,80	0,59	57,46	151,21
Condado	35,01	1,75	127,56	310,28
Santa Inês	26,11	0,83	103,91	259,00
Poço Redondo	49,27	3,33	325,76	459,95
Católé	10,50	0,50	132,51	136,00

5.3.2.2.2 – SUB-SISTEMA -02

Esse sub-sistema possui uma área de contribuição 340,90 Km² e 2 reservatórios principais Cachoeira dos Alves e Bruscas, totalizando um volume máximo acumulável de 48,81 x 10⁶ m³. As demandas atuais retiradas dos reservatórios para abastecimento são:

- Cachoeira dos Alves $q = 0,044 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Bruscas $q = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$;

O esquema de simulação está representado na Figura 5.13 e os dados relacionados com os reservatórios estão apresentados na Tabela 5.10.

Figura 5.13 - Esquema para simulação do Sub-Sistema-02 no modelo MODSIM P32

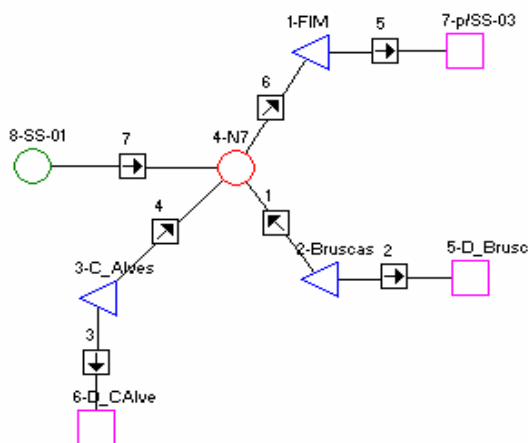


Tabela 5.10 - Dados técnicos dos reservatórios do Sub-Sistema-02

Reservatório	Volumes (hm^3)		Bacia hidrográfica (km^2)	Bacia hidráulica (ha)
	Maximo	Mínimo		
Cachoeira dos Alves	10,61	0,54	112,20	208,51
Bruscas	38,20	1,91	228,70	306,26

5.3.2.2.3 – SUB-SISTEMA -03

Esse sub-sistema possui uma área de contribuição $737,77 \text{ Km}^2$ e 5 reservatórios, sendo 3 principais e 2 de montante dos reservatórios Saco de Nova Olinda e Canoas, totalizando um volume máximo acumulável de $162,91 \times 10^6 \text{ m}^3$. Vale ressaltar que, a capacidade máxima utilizada na simulação do reservatório Canoas de $36,850 \text{ hm}^3$, foi sugerida pelo próprio autor, através de trabalho de consultoria para a SEMARH em 2003. As demandas atuais retiradas dos reservatórios para abastecimento são:

- Saco de N. Olinda $q = 0,007 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Jatobá II $q = 0,046 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Queimadas $q = 0,007 \text{ m}^3/\text{s}$;

O esquema de simulação está representado na Figura 5.14 e os dados relacionados com os reservatórios estão apresentados na Tabela 5.11.

Figura 5.14 - Esquema para simulação do Sub-Sistema-03 no modelo MODSIM P32

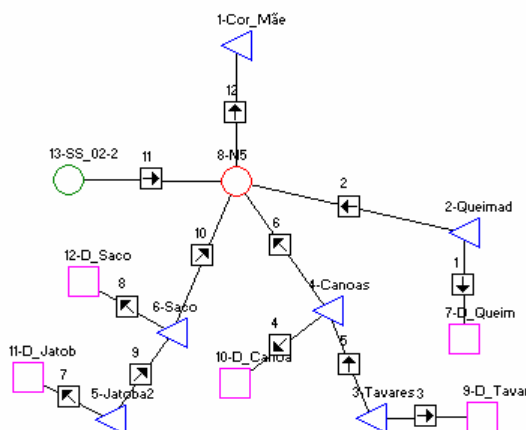


Tabela 5.11 – Dados técnicos dos reservatórios do Sub-Sistema-03

Reservatório	Volumes (hm ³)		Bacia hidrográfica (km ²)	Bacia hidráulica (ha)
	Máximo	Mínimo		
Saco de N. Olinda	97,48	4,87	288,40	640,77
Jatobá II ⁽¹⁾	6,49	0,32	64,16	118,26
Canoas	36,850	2,40	206,49	264,00
Tavares ⁽²⁾	6,47	0,32	53,51	58,29
Queimadas	15,62	0,78	125,21	240,95

(1) – Reservatório a montante de Saco de N. Olinda; (2) - Reservatório a montante de Canoas

5.3.2.3 – Tributário – 03 (EMAS)

Este tributário é composto de 4 reservatórios principais e 3 reservatórios de montante, controlando uma área de drenagem de 1.064,69 Km², algo em torno de 13,6% de toda área da bacia do sistema Coremas-Mãe D'Água. Possui uma disponibilidade hídrica total de 198,87 milhões de metros cúbicos, conforme esquema de simulação apresentado na Figura 5.15. As demandas retiradas para abastecimento são:

- Emas q = 0,004 m³/s;
- Cachoeira dos Cegos q = 0,004 m³/s;
- Jenipapeiro q = 0,006 m³/s;
- Bom Jesus q = 0,006 m³/s;
- Glória q = 0,009 m³/s.

O esquema de simulação está representado na Figura 5.15 e os dados relacionados com os reservatórios estão apresentados na Tabela 5.12. O reservatório Glória por não apresentar capacidade de regularização, não foi considerado na simulação.

Figura 5.15 - Esquema para simulação do Tributário Emas no modelo MODSIM P32

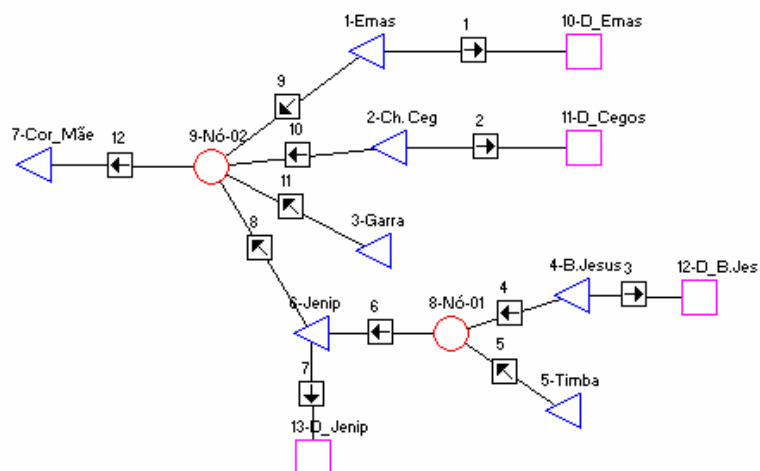


Tabela 5.12 – Dados técnicos dos reservatórios do Tributário Emas

Reservatório	Volumes (hm ³)		Bacia hidrográfica (km ²)	Bacia hidráulica (ha)
	Máximo	Mínimo		
Emas	2,01	0,32	40,96	97,30
Cachoeira dos Cegos	80,00	3,45	283,64	1.165,00
Garra	15,44	0,29	84,89	178,40
Jenipapeiro	70,00	5,20	402,59	692,65
Timbaúba*	15,47	0,29	84,89	201,19
Bom Jesus*	14,64	3,25	119,62	146,60
Glória*	1,35	0,09	38,52	26,34

(*) – Reservatórios a montante de Jenipapeiro;

5.3.2.4 – TRIBUTÁRIO – 04

Este é o maior tributário em termos de área de contribuição, referente a 60,8% de toda área da bacia hidrográfica do sistema. Na simulação, este tributário é representado por um reservatório de derivação, onde estão acumulados as vazões representativas das áreas de contribuição dos reservatórios Coremas Mãe D'Água, descontadas das áreas controladas pelos reservatórios dos três outros tributários. Por não conter reservatórios, não existirá obviamente, nenhuma simulação nesse tributário, servindo apenas de passagem dos afluxos advindos da área não controlada do sistema global.

5.3.3 – OS RESERVATÓRIOS COREMAS E MÃE D'ÁGUA

O sistema composto por esses reservatórios representa a maior reserva hídrica do estado da Paraíba, com uma capacidade máxima de acumulação de 1,358 bilhões de metros cúbicos e uma bacia hidrográfica de 8.700,34 Km². O sistema é formado por dois reservatórios: Coremas (Estevam Marinho) e Mãe D'Água, interligados na cota 237m, por um canal vertedor com capacidade de transportar uma vazão máxima de 12 m³/s.

O reservatório Coremas tem uma capacidade máxima de acumulação igual a 720 milhões de m³, para uma bacia hidráulica máxima de 59,5 Km² e uma bacia de contribuição de 4.241,87 km². Possui dois importantes tributários: o próprio rio *Piancó* (principal), que controla 59,4% da área de contribuição do sistema e responsável por, aproximadamente, 50% de toda afluência ao sistema e o tributário *Emas*, que controla 40,6% da área da bacia hidrográfica. A precipitação média anual na bacia é de 860 mm, um coeficiente de rendimento igual a 9,2% e um deflúvio médio anual de 632.100.000 m³. Neste reservatório está acoplada uma usina para geração de energia elétrica, com capacidade para produzir 3,52 MW de potência para uma vazão máxima turbinada de 7,3 m³/s. Neste reservatório, a descarga de fundo pode ser da própria vazão turbinada ou pela válvula do “by pass”, lançando diretamente no rio Piancó através do canal de descarga. A cota mínima de operação desse reservatório para geração de energia foi adotada como sendo a cota 223m, com uma reserva de água de 69 milhões de m³.

O reservatório Mãe D'Água tem uma capacidade máxima de acumulação igual a 638,7 milhões de m³, para uma bacia hidráulica máxima de 38,4 Km² e uma bacia de contribuição de 1.047,53 km². Possui o próprio rio Aguiar como principal tributário, responsável por, somente, 19,8% de toda afluência ao sistema. Possui um coeficiente de rendimento um pouco superior ao de Coremas, em torno de 11,4%, e um deflúvio médio anual de 132.100.000 m³. Neste reservatório inicia-se a maior obra hidráulica do estado: *a Canal da Redenção*. Partindo da cota 230,875 m, o canal foi projetado para transportar uma vazão máxima 4,0 m³/s desse sistema para as Várzeas de Sousa, percorrendo uma extensão total de 37 Km, Neste reservatório, além da tomada d'água do canal existe uma outra tomada na cota 220 m (mínima), por onde é lançado deflúvio do reservatório para o rio Aguiar. O volume intangível é de 14,6 milhões de m³.

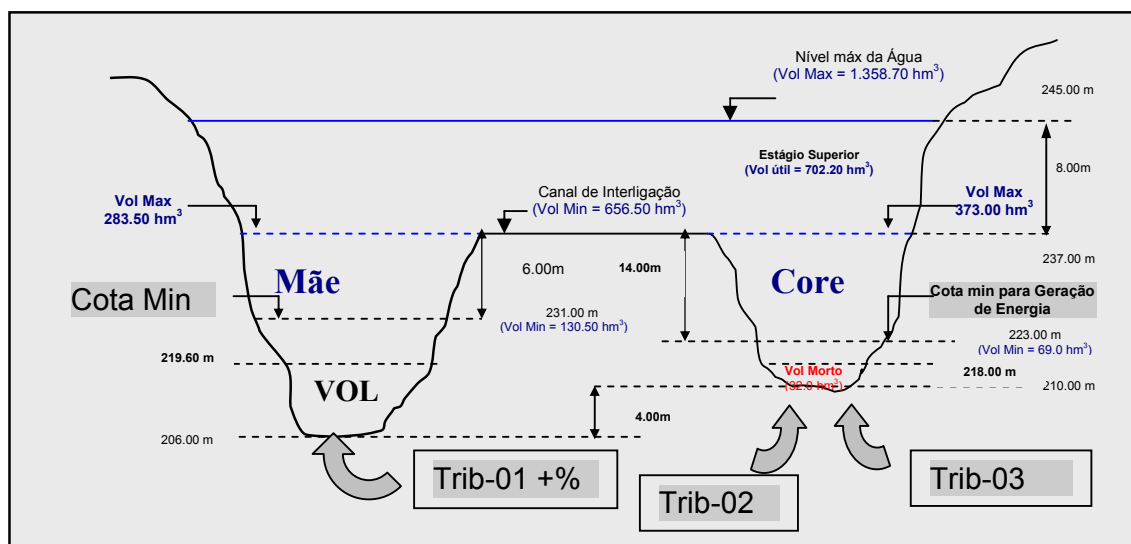
O volume formado pelos dois reservatórios acima da cota de ligação (237m) é de 702,2 milhões de m³, aproximadamente 52% da capacidade total. O sistema, ao longo da sua história, tem geralmente se situado acima dessa cota, com variação média do volume de acumulação em torno dos 60% da capacidade máxima. Entretanto, uma análise feita no

comportamento hídrico desse sistema, na série de observação dos volumes acumulados no período de 1969 a 2003, fornecida pelo LMRS/SEMARH, observou-se que:

- por sete vezes os reservatórios estiveram separados, sendo que, em 3 momentos no período de chuva na região (fevereiro/maio), no ano de 1998;
- os reservatórios já estiveram separados por um período total de 26 meses, destes, 6 meses consecutivos no ano de 1993;
- o ano com pior desempenho hídrico do sistema foi o ano de 1999, com o total de 7 meses com separação, sendo 5 deles consecutivos; e
- o menor percentual do volume acumulado no sistema foi no mês de dezembro de 1993, com apenas 35,1% da capacidade máxima, que corresponde ao volume igual a $477,36 \text{ hm}^3$.

Nos períodos de separação dos reservatórios foi estimada uma retirada de uma vazão média de $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$, aproximadamente. Na Figura 5.16 estão mostradas com detalhes as principais cotas de operação do sistema Coremas Mãe D'Água adotadas no estudo de simulação.

Figura 5.16 – Representação do sistema Coremas Mãe D'Água para simulação.



5.4 – OS MODELOS UTILIZADOS

5.4.1 – GENERALIDADES

Na pesquisa bibliográfica sobre o assunto não foi possível encontrar um único modelo capaz de simular todo o sistema. Isto é devido não somente a complexidade do sistema, com um grande número elementos envolvidos, mas também, principalmente, pela forma como os reservatórios Coremas e Mãe D'Águas estão interligados. É comum nos estudos sobre o comportamento hídrico desse sistema considerar esses reservatórios como um único, através do princípio de *vasos comunicantes* na cota dos volumes mínimos, com uma única tomada d'água nesta cota (exemplo: o Plano Diretor da Bacia e os Estudos da Transposição de Águas do São Francisco). Os reservatórios, como definido anteriormente, são interligados na cota 237m e cada um deles possui duas tomadas de água em cotas diferenciadas. Para representar o processo de transferência de água entre os mesmos foi desenvolvido neste estudo um algoritmo, denominado SimCOMA (simulação do sistema Coremas-Mãe D'Água), descrito em detalhes na Seção 5.4.4.

Diante da complexidade da representação do sistema Coremas-Mãe D'Água, estudou-se o comportamento hídrico do mesmo, através da utilização de três modelos: um modelo de otimização das receitas líquidas dos perímetros irrigados da bacia ORNAP (CURI e CURI 1999), um modelo de simulação integrado dos reservatórios de montante do sistema MODSIM P32 (LABADIE, 1989) e, como evidenciado no parágrafo anterior, o modelo SimCOMA.

5.4.2 – O MODELO ORNAP

5.4.2.1 – CONCEITUAÇÕES

O Modelo ORNAP trabalha com variáveis relacionadas aos elementos naturais, tais como: hidroclimáticos e hidroagrícolas, como também outras variáveis (demandas hídricas, características físicas, parâmetros comerciais, etc) identificadas no estudo do sistema hídrico proposto. Para estes elementos, são definidos quatro pontos básicos de entrada de dados, envolvendo: os reservatórios, as demandas para abastecimento urbano, calhas dos rios e perímetros irrigados. O período computacional do modelo é a nível mensal para os doze meses do ano, permitindo inferir o comportamento do sistema para as situações climáticas: seca, média e chuvosa, admitindo ainda, criar cenários para vários volumes de acumulação, estabelecimento de níveis de alerta visando a sustentabilidade hídrica dos reservatórios e de

estabelecimento de áreas máximas e mínimas a serem plantadas nos perímetros irrigados, por tipo de cultura.

A função objetivo especificada permite a aferição de desempenho do modelo e está sujeita a inúmeras restrições, representadas por equações de natureza linear e não linear, que traduzem, a nível mensal, as limitações físicas dos reservatórios, perímetros irrigados e equipamentos hidráulicos, limitações hidrológicas, legais, econômicas e sociais, inerentes aos sistemas de usos múltiplos. As equações matemáticas representativas dessas limitações serão abordadas na seqüência.

5.4.2.2 – ASPECTOS TEÓRICOS

5.4.2.2.1 – DA AGRICULTURA IRRIGADA

O objetivo é calcular a receita líquida (RL), entendida como o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida com a venda da safra agrícola e os respectivos custos de produção envolvidos, gerada pela escolha apropriada das áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura prevista nos seis perímetros irrigados. Para tanto, leva-se em consideração: a renda bruta, obtida com a venda da produção agrícola, os custos de produção anuais, o custo da água para irrigação e a atualização monetária. A renda bruta anual (Rb_{jt}), em R\$/ano/por cultura, pode ser estimada pela equação:

$$Rb_{jt} = \sum_{j} Pr od_{jt} * Pr c_j * Ac_{jki} \quad (5.1)$$

onde,

j – indica o tipo de cultura, $j = 1, 2, \dots, nc$, (nc = número de culturas);

t - indica o ano, $i = 1, 2, \dots, na$, (na = número de anos);

k - indica o perímetro irrigado, $k = 1, 2, \dots, ni$, (ni = número de perímetros irrigados);

Prod_{jt} – produtividade da cultura j por unidade de área no ano t de irrigação;

Pr_{cj} – valor atualizado do preço de comercialização da cultura j ; e

Ac_{jk} – área plantada da cultura j no perímetro k .

O custo de produção anual (Cp_{jt}) em R\$/ano/cultura, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, pode ser obtido por:

$$Cp_{jt} = \sum_{k=1}^{ni} Cprod_{jt} * Ac_{jki} \quad (5.2)$$

onde,

$Cprod_{jt}$ - representa o valor atualizado dos custos de produção por unidade de áreas da cultura j referente aos gastos no ano t .

Para o cálculo da taxa de evapotranspiração potencial mensal (Etp_{ijk}) da cultura j no mês t no perímetro k , em mm/mês, pode ser estimada de forma aproximada, em função da taxa de evapotranspiração de referência (Eto), obtida da seguinte expressão (Gomes, 1999):

$$Eto_{kt} = K_{tk} * Ev_{tk} \quad (5.3)$$

onde,

t – representa o mês, $t = 1, 2, \dots, nm$, (nm é o número de meses em estudo);

K_{tk} - representa o coeficiente do tanque evaporimétrico no perímetro k ; e

Ev_{tk} - representa a taxa de evaporação media mensal do tanque Classe A no perímetro k .

Logo, a evapotranspiração potencial mensal (Etp_{ijk}) é obtida por:

$$Etp_{ijk} = Kc_{jt} * Eto_{kt} \quad (5.4)$$

onde,

Kc_{jt} - representa o coeficiente de cultivo da cultura j no mês t .

Para determinação da lâmina de rega é necessário calcular a taxa de precipitação que infiltra no solo, que fica efetivamente à disposição das plantas, ou seja, a precipitação efetiva no mês t no perímetro k (Pce_{kt}), em mm/mês, na região a ser irrigada, que pode ser estimada pelas expressões, para terrenos com declividades entre 4% e 5%, segundo especificação da FAO apud ANDRADE (2000, p.45):

$$Pce_{kt} = 0,8 * Pc_{kt} - 25, \text{ para } Pc_{kt} \geq 75 \text{ mm} \quad (5.5)$$

ou

$$Pce_{kt} = 0,8 * Pc_{kt} - 10, \text{ para } Pc_{kt} < 75 \text{ mm} \quad (5.6)$$

onde,

Pc_{kt} – é a taxa de precipitação no mês t no perímetro k (em mm/mês)

A necessidade de irrigação da cultura j , no mês t no perímetro k , (N_{jkt}), ou a lâmina de rega suplementar que a planta necessita, para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo, pode ser estimada por (Gomes, 1999):

$$N_{jkt} = Etp_{jkt} - Pce_{kt} - G_{jkt} - W_{kt} \quad (5.7)$$

onde,

G_{jkt} - é a dotação de água na radicular da cultura j no mês t por capilaridade (em mm), que depende do tipo de solo e do nível do lençol freático do perímetro k ; e

W_{kt} - é a reserva de água no solo no início do mês t (em mm), que depende da capacidade de armazenamento de água no solo no perímetro k .

A quantidade de água a ser captada para cada tipo de cultura j dependerá da eficiência do sistema de irrigação ($Eirr_{jk}$), obtida pelo produto entre a eficiência do sistema de distribuição de água para cada perímetro ($Esis_{jk}$) e da eficiência da irrigação por cultura (Eap_j):

$$Eirr_{jk} = Eap_j * Esis_{jk} \quad (5.8)$$

A lâmina mensal de água para a irrigação da cultura j no mês t para o perímetro k ($Qirr_{jkt}$), transformada em vazão por unidade de área, a ser fornecida pelo sistema, poder ser obtida por:

$$Qirr_{jkt} = \frac{N_{jkt}}{(1 - LR_{jkt}) * Eirr_{jk}} \quad (5.9)$$

onde,

LR_{jkt} - é a necessidade de lixiviação dos sais que se acumulam no solo cultivado, obtida em função da fração de água mínima que deverá percolar para lavar os sais, que depende da quantidade de água de irrigação e da salinidade tolerada pela cultura j , no mês t , no perímetro k .

O custo de água anual, Ca_{jt} (em R\$/ano/cultura), captada para os perímetros pode ser obtida pela expressão:

$$Ca_{jt} = \sum_{k=1}^{ni} \sum_{i=12^{*(t-1)+1} \leq nm} Pr a_k * Qirr_{ijk} * Ac_{jk} \quad (5.10)$$

onde,

$Pr a_k$ – é o preço da água por unidade de volume para o perímetro k .

A receita líquida RL (em R\$) é dada pela expressão:

$$RL = \sum_{t=1}^{na} \prod_{l=1}^t (1 + d_l) \sum_{j=1}^{nc} \left[\prod_{m=1}^t (1 + dc_{jl}) * Rb_{jt} - Cp_{jt} - Ca_{jt} \right] \quad (5.11)$$

onde,

$\sum_{l=1}^t \prod (1 + d_l)$ - representa o fator de atualização monetária, referente à taxa de desvalorização da **moeda i no ano l** ; e

$\sum_{l=1}^t \prod (1 + dc_{jl})$ - representa o fator de atualização monetária, referente a expectativa de crescimento ou decréscimo nos preços dc_{jl} , além do nível de inflação, da **cultura j no ano l** , que pode ser positiva ou negativa.

Os gastos fixos e indiretos (taxas, administração, etc), embora não alterem o resultado do processo de otimização (ANDRADE, 2000), foram diluídos na formação do preço de produção das culturas.

Outros aspectos relacionados com a agricultura irrigada são as restrições físicas e operacionais do sistema. Entre as restrições físicas pode-se destacar: a área a ser irrigada em cada perímetro, a vazão a ser aduzida para o perímetro e a não negatividade das variáveis. Com relação às restrições de ordem operacional estão relacionados: os critérios agrônômicos e de mercado.

As limitações impostas pelas capacidades do canal ou do sistema adutor pelos quais a água será aduzida aos respectivos perímetros irrigados podem ser representadas por:

$$\sum_{j=1}^{nc} Qirr_{jkt} Ac_{jk} \leq Qt \max_k \quad (5.12)$$

onde,

Q_{tmax_k} – é a capacidade mensal de vazão do sistema adutor para o perímetro k .

A restrição quanto ao limite máximo mensal de área que poderá ser plantada por perímetro em cada mês, pode ser obtida pela expressão:

$$\sum_{j=1}^{nc} \alpha_{jk} * Ac_{jk} \leq Ap_{max_{kt}} \quad (5.13)$$

onde,

$Ap_{max_{kt}}$ representa o limite máximo de área total que poderá ser plantada por perímetro no mês t . Sendo:

$\alpha_{jkt} = 1$, se a cultura j for plantada no mês t no perímetro k ; ou

$\alpha_{jkt} = 0$, se a cultura j não for plantada no mês t no perímetro k ;

Com relação aos critérios agronômicos e de mercado, o conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos das áreas a serem plantadas com cada tipo de cultura por perímetro irrigado, expressa por:

$$Ac_{min_{jk}} \leq Ac_{jk} \leq Ac_{max_{jk}} \quad (5.14)$$

onde,

$Ac_{min_{jk}}$ – representa a área mínima a ser plantada com a cultura j no perímetro k ; e

$Ac_{max_{jk}}$ - representa a área máxima a ser plantada com a cultura j no perímetro k .

5.4.2.2.2 – DOS RESERVATÓRIOS E SEUS COMPONENTES

O balanço hídrico será efetuado para cada reservatório isoladamente, pois, deve-se levar em conta os afluxos em cada reservatório, os quais partem de diferentes fontes. No modelo ORNAP, os reservatórios podem ser conectados a outros elementos do sistema a jusante destes, descargas de fundo, vertedouros e tomadas d'água, através de nós. A vazão em cada um destes elementos depende de seus parâmetros hidráulicos e do nível de água dos reservatórios. O reservatório também poderá estar conectado a um nó de montante, vazões

afluentes. O balanço hídrico mensal de reservatório tem como base o princípio da conservação de massa e pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Vr_{l,t+1} = Vr_{lt} + \sum_{\alpha(l)} Qa_{\alpha(l),t} - \sum_{f(l)} Qf_{f(l),t} - \sum_{t(l)} Qt_{t(l),t} + (Pr_{lt} - Evr_{lt}) * Ar_{lt} - \sum_{v(l)} Qv_{v(l),t} \quad (5.15)$$

onde,

$\alpha(l)$ - índice que representa a α -ésima vazão afluente ao reservatório l ;

$f(l)$ - índice que representa a f -ésimo descarregador de fundo do reservatório l ;

$t(l)$ - índice que representa a t -ésima tomada d'água do reservatório l ;

$v(l)$ - índice que representa a v -ésimo vertedor do reservatório l ;

Vr_{lt} - volume do reservatório l no mês t ;

$Vr_{l,t+1}$ - volume do reservatório l no mês $t+1$;

$Qa_{\alpha(l),t}$ - α -ésima vazão afluente ao reservatório l no mês t ;

$Qf_{f(l),t}$ - f -ésima vazão de descarga de fundo do reservatório l no mês t ;

$Qt_{t(l),t}$ - t -ésima vazão de tomada d'água do reservatório l no mês t ;

$Qv_{v(l),t}$ - v -ésimo volume vertido do reservatório l no mês t ;

Pr_{lt} - precipitação direta no reservatório l no mês t ;

Evr_{lt} - taxa de evaporação sobre o reservatório l no mês t ; e

Ar_{lt} - área média do espelho d'água do reservatório l no mês t ;

Dependendo das vazões afluentes e alocação mensal de água do reservatório para os diversos usos, as áreas da superfície líquida, as cotas do nível de água e os volumes variam mês a mês, sendo, portanto, necessário utilizá-las mensalmente. Para tanto, faz-se o uso das relações *cota x área x volume* para cada um dos 12 reservatórios envolvidos.

As atualizações mensais das cotas, áreas e volumes também servem para que se estabeleçam limites para os cálculos dos volumes defluentes via tomada d'água, descargas de fundo e extravasores. A vazão a ser captada através das tomadas d'água está limitada a sua capacidade máxima e a cota da tomada d'água, escrito matematicamente pela expressão:

$$0 \leq Qt_{t(l),t} \leq Qtmax_{t(l)} \quad (5.16)$$

$$Qt_{t(l),t} \geq 0, \text{ se } Hr_{lt} \geq Ht_{t(l)} \quad (5.17)$$

onde,

$Qtmax_{t(l)}$ - representa a vazão máxima de captação pela t -ésima tomada d'água do reservatório l ;

Hr_{lt} - representa a cota do nível d'água do reservatório l no mês t ; e

$Ht_{t(l)}$ - representa a cota do t -ésima tomada d'água no reservatório l

A vazão a ser liberada pelo descarregador de fundo está limitada pela capacidade máxima no mês t , estimada pela expressão (QUINTELA, 1981):

$$0 \leq Q_{f(l),t} \leq C_{f(l)} * A_{f(l)} * [2g(Hr_{lt} - H_{f(l)})]^{0,5} \quad (5.18)$$

onde,

$C_{f(l)}$ - coeficiente de vazão do f -ésimo descarregador de fundo do reservatório l ;

$Q_{f(l),t}$ - vazão máxima que pode ser aduzida pelo f -ésimo descarregador de fundo do reservatório l no mês t ;

$A_{f(l)}$ - área da seção transversal do f -ésimo descarregador de fundo do reservatório l ; e

$H_{f(l)}$ - cota de jusante da geratriz inferior do f -ésimo descarregador de fundo do reservatório l

As vazões extravasadas pelos vertedouros, segundo Quintela (1981), são estimadas por:

$$Q_{v(l),t} = C_{v(l)} * B_{v(l)} * (Hr_{lt} - H_{vert_{v(l)}})^{1,5} \quad (5.19)$$

onde,

$C_{v(l)}$ - coeficiente de descarga dependente da forma do v -ésimo vertedor do reservatório l ;

$B_{v(l)}$ - largura de base do v -ésimo vertedor do reservatório l ; e

$H_{vert_{v(l)}}$ - cota da soleira do v -ésimo vertedor do reservatório l .

As vazões vertidas somente serão verificadas se, e somente se, a condição abaixo for satisfeita:

$$H_{vert_{v(l)}} \leq Hr_{lt} \leq H_{vmax_{v(l)}} \quad (5.20)$$

onde,

$H_{vmax_{v(l)}}$ - representa a cota do nível d'água do reservatório l , que gera a lâmina vertente máxima projetada para o v -ésimo vertedor.

Outras restrições podem ser impostas ao sistema, tais como:

i) de ordem física:

$$Vr_{morto(l)} \leq Vr_{lt} \leq Vr_{max(l)} \quad (5.21)$$

ii) de ordem operacional:

$$Vr_{min(lt)} \leq Vr_{lt} \leq Vr_{max(lt)} \quad (5.22)$$

onde,

$Vr_{morto(l)}$ - representa o volume morto do reservatório l ;

$Vr_{maxv(l)}$ - representa a capacidade máxima de acumulação do reservatório l ;

$Vr_{maxv(lt)}$ - representa o volume máxima admitido para o reservatório l no mês t ; e

$Vr_{min(lt)}$ - representa o volume mínimo admitido para o reservatório l no mês t .

5.4.2.2.3 – DE OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA

Outros componentes do sistema hídrico, para o ORNAP, estão as calhas dos rios e riachos, cujas vazões podem ser limitadas por valores inferiores, indicando requerimento de regularização e de vazões ecológicas, ou ainda, superiores, pra controle de cheia, descritas pela expressão:

$$Qc_{min(ct)} \leq Qc_{ct} \leq Qc_{max(ct)} \quad (5.23)$$

onde,

$Qc_{min(ct)}$ - vazão mínima na c -ésima calha do rio no mês t ;

$Qc_{(ct)}$ - vazão na c -ésima calha do rio no mês t ; e

$Qc_{max(ct)}$ - vazão máxima na c -ésima calha do rio no mês t .

O modelo promove o balanço hídrico em cada nó do sistema, através da seguinte expressão:

$$\sum_i Qentra_{in,t} = \sum_j Qsai_{jn,t} \quad (5.24)$$

onde,

$Qentra_{in,t}$ - representa a i -ésima vazão de entrada no nó n no mês t ; e

$Qsai_{jn,t}$ - representa a j -ésima vazão de saída no nó n no mês t .

A receita líquida (RI) oriunda da atividade de piscicultura no reservatório pode ser estimada por:

$$Rl = (Prmp_i * Pdp_i - Cal) * (min_t Ar_t) \quad (5.25)$$

onde,

$Prmp_i$ - representa o preço médio do pescado na região do reservatório t ;

Pdp_i - produtividade média do pescado por unidade de área;

Cal - custo de alevinagem por unidade de área; e

$min_t Ar_t$ - área da superfície líquida mínima, entre os meses t de despesca no reservatório t .

5.4.2.2.4 – ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DA OTIMIZAÇÃO

O Modelo a ser utilizado, **ORNAP**, tem a seguinte estrutura computacional: um programa principal, denominado **Otimiz**, responsável pela otimização via **MATILAB**, trabalhando de forma iterativa com base nas informações de seis arquivos. São eles: o arquivo dados, contendo os valores para as variáveis operacionais do sistema; o arquivo balhid, com a função balanço hídrico mensal dos reservatórios; o arquivo cotvol, que opera entradas de volumes mensais e fornece as cotas dos níveis d'água mensais dos reservatórios; o arquivo espcot, que opera entradas de cotas de níveis d'água mensais e fornece as áreas de espelhos d'água mensais para os reservatórios; o arquivo irrig, responsável pelas avaliações agrônomicas e econômicas da irrigação a nível mensal; e o arquivo penal, com as funções de penalidades aplicáveis a minimização da função objetivo, após observadas as restrições impostas. O programa dispõe de dois arquivos de impressão dos resultados da otimização: **printarq** e **printarqi**. O primeiro opera os resultados em forma de solução final e o segundo, como solução imediatamente anterior, independentemente de ter sido completado o número de iterações de minimização programada para execução do programa.

A convergência do processo iterativo de otimização é analisada através dos valores calculados para a função objetivo e função de penalidade que, para uma boa aceitação, devem ser iguais ou da mesma ordem de grandeza, sendo avaliados ainda:

- O erro relativo da função objetivo (**fo**) – $erro_{fo} = | (fo_t - fo_{t-1}) / fo_t |$;
- O erro relativo da função de penalidade (**fp**) – $erro_{fp} = | (fp_t - fp_{t-1}) / fp_t |$; e
- O erro relativo da função mista (**fm**) – $erro_{fm} = | (fp_t - fo_t) / fo_t |$;

Esses valores devem respeitar um certo nível de tolerância (**tol**) especificado para o sistema a ser otimizado. Para esse trabalho, está sendo analisada uma tolerância da ordem de 10^{-4} . O programa fornece ainda resultados para análise de convergência de restrições, dentro

da tolerância requerida, descrevendo o tipo de restrição violada, ou não, suas quantidades mensais e valores totais.

5.4.2.2.5 – FLUXOGRAMA DO MODELO

O Fluxograma do Modelo ORNAP está representado na Figura 5.17.

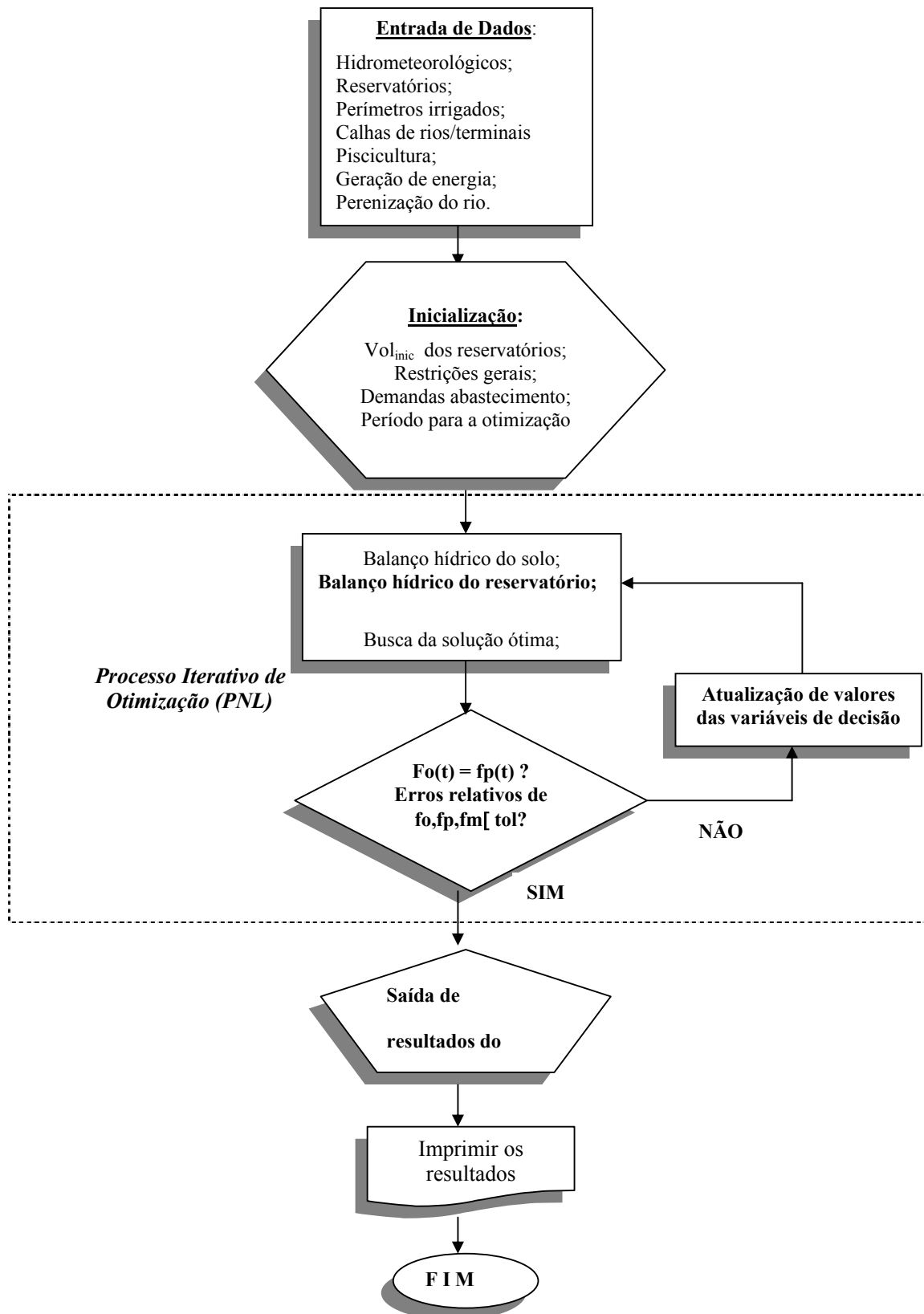
5.4.3 – O MODELO MODSIM

O Modelo MODSIM foi desenvolvido no Colorado State University, por Jonh Labadie, em 1988, e tem como suposição básica que o sistema de recursos hídricos possa ser representado como uma Rede de Fluxo. O modelo tem como hipóteses: Todos os “nós” de armazenamento e arcos do sistema devem possuir limites máximos e mínimos, permitindo-se que os arcos varie ao longo do tempo. As perdas por evaporação e infiltração são considerados iterativamente.

O MODSIM é um modelo de rede de fluxo capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas. Ele é adaptável a diversos tipos de problemas de tal forma que a maior parte das configurações e estruturas operacionais das bacias hidrográficas possa ser representada por meio de especificação de dados de entrada. Tem com importantes atributos:

- Faz simulação de rede de fluxo de volumes armazenados em reservatórios e da distribuição de vazões em sistema complexo de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica;
- Tem a capacidade de otimizar a operação de sistemas mediante a utilização de um algoritmo de rede chamado OUT-OF-KILTER (OKM), algoritmo de programação linear primal-dual que foi desenvolvido especialmente para a solução eficiente de problemas de minimização de custos em redes de fluxo;
- Pode ser utilizado para formulação de diretrizes operacionais de curto (semanal) ou de longo prazo (sazonal ou plurianual);e

Figura 5.17: Fluxograma do modelo ORNAP



- Além de ser um instrumento de gerenciamento, o modelo também pode ser usado para o planejamento, para a análise de impacto de propostas alternativas para implantação de projetos de aproveitamento de recursos hídricos

5.4.3.1 – O ALGORITMO OUT-OF-KILTER

O Algoritmo “Out-of-Kilter” é utilizado para o custo mínimo em uma rede de fluxo completamente circulante. Matematicamente resolve o seguinte problema, de forma seqüencial e ao longo do tempo:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_{ij}(\mathbf{q}_{ij}) \cdot \mathbf{q}_{ij} \quad (5.26)$$

Onde,

\mathbf{q}_{ij} – é a vazão média entre o nó i e o nó j , durante o intervalo de tempo considerado;

$C_{ij}(\mathbf{q}_{ij})$ – é o custo médio associado com a vazão \mathbf{q}_{ij} , que pode ser associado a um custo unitário ou a um valor de ponderação que represente direitos de água ou prioridades operacionais;

Sujeito a:

1. Satisfação do equilíbrio de massa em todos os nós, $j = 1, 2, 3, \dots, N$

$$\sum_{i \in I_j} \mathbf{q}_{ij} - \sum_{k \in O_j} \mathbf{q}_{jk} = 0 ; \quad (5.27)$$

Onde,

I_j – o conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó j ($i \in I_j$, todos os nós i que são elementos do conjunto I_j); e

O_j – o conjunto de todos os nós com arcos que se originam no nó j .

2. A vazão mínima em todos os arcos (i,j)

$$\mathbf{q}_{ij} \in I_{ij}; \quad \forall ij = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5.38)$$

Onde,

I_{ij} - Vazão mínima no arco (i,j)

3. A vazão máxima em todos os arcos (i,j)

$$q_{ij} \leq U_{ij}; \quad \forall ij = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5.39)$$

Onde,

$U_{ij} (q_{ij})$ - Vazão máxima no arco (i,j)

5.4.3.2 – CRITÉRIOS DE OTIMIZAÇÃO

Para determinação da solução ótima de um problema, o MODSIM considera três critérios de otimização do algoritmo *out-of-kilter*, conforme descritos abaixo:

1. se $C_{ij} (q_{ij}) < 0$, então $q_{ij} = I_{ij}$, se ocorrer perdas no transporte de i para j , o fluxo deve ser o menor possível;
2. se $C_{ij} (q_{ij}) > 0$, então $q_{ij} = U_{ij}$, se ocorrer ganhos no transporte de i para j , o fluxo deve ser o maior possível;
3. se $C_{ij} (q_{ij}) = 0$, então $I_{ij} \leq q_{ij} \leq U_{ij}$, se o custo ligado no arco foi igual a zero, a situação é indiferente, desde que não haja violação dos limites mínimos e máximos.

O modelo considera uma solução ótima para o problema, qualquer *arco* que satisfaça a uma destas condições e será considerado “*em kilter*”.

5.4.3.3 – NÃO LINEARIDADE

A não linearidade desse problema resulta no fato de que $C_{ij} (q_{ij})$, I_{ij} e U_{ij} podem ser funções não lineares de q_{ij} (vazão média) no sentido geral. Existem casos em que será necessário se considerar “*elos curtos não lineares*”, ou seja, custos unitários com valor $C_{ij} (q_{ij})$. O modelo resolve esse problema através da aproximação de uma função não linear por segmentos de reta, denominada de *linearização por partes*.

Segundo Porto et al. (1997), para solução do problema da não linearidade, o programa automaticamente desempenha as seguintes iterações em cada intervalo de tempo:

- Inicialmente assume os valores C_{ij} , I_{ij} e U_{ij} e resolve-se a rede;
- Atualiza esses valores com base nas vazões q_{ij} ;
- Resolve-se novamente a rede com os parâmetros atualizados e obtém-se novos valores para as vazões q_{ij} ;
- Repete-se o procedimento até que as estimativas sucessivas de vazões converjam dentro da tolerância estabelecida para o erro; e
- O processo se repete para os intervalos de tempos subsequentes.

5.4.3.4 – OS COMPONENTES DO SISTEMA

Os componentes do sistema a serem definidos pelos usuários são: vazões não reguladas, perdas nos reservatórios, demandas da água, onde são definidas as prioridades de atendimento das demandas. No modelo, quanto maior o valor atribuído a uma demanda (variando entre 1 e 99), menor será a prioridade atribuída à referida demanda. Esses componentes são definidos a seguir.

1. Vazões não reguladas, são dados de vazões, que podem ser baseadas em dados históricos, previsões futuras ou geração sintética, a serem fornecidas pelo usuário para cada nó de passagem (vazões mínimas, reservas ecológicas, ...), como também para os reservatórios.
2. Perdas nos reservatórios e por evaporação:
 - i) Limites dos arcos, deve-se definir os valores limites para as vazões máximas e mínimas dos arcos, os quais a vazão média circulante nos arcos deve respeitar;
 - ii) Vertimentos, se fisicamente for possível, deve-se especificar todos os reservatórios como nós de vertimentos. O limite inferior é zero e o superior é equivalente a capacidade total de armazenamento em todo sistema, multiplicado por dez;

iii) Os custos nos arcos, duas opções de prioridades são possíveis:

- OPRHi – número da prioridade para o reservatório se o volume inicial estiver no nível desejado (volume meta);
- OPRPi – número da prioridade se o volume estiver no mínimo.

O modelo calcula os custos nos arcos através da seguinte expressão:

$$C_{is} = - [1000 - (OPRPi \times 10)] \quad (5.40)$$

Onde,

C_{is} representa um benefício vinculado ao volume meta.

iv) Evaporação, como opção, pode inserir o valor total evaporado líquido.

v) Perdas de condução e infiltração, o modelo permite incluir diretamente as perdas por infiltração nos canais, através da definição de um coeficiente de perda para cada trecho de rio. Este coeficiente representa a fração de afluxo na cabeceira do arco que seria perdida durante o percurso no arco. A rotina CHANLS calcula a expectativa de perda do canal para cada período determinado (PORTO, 1997).

5.4.3.5 – OS ESTADOS HIDROLÓGICOS

Os volumes metas (T_i) para cada reservatório podem ser especificados (permitindo-se variações) em cada período de simulação ou podem ser condicionados ao *estado hidrológico* do sistema definido como (Porto, 1997):

$$\sum_{i \in H} [S_i + I_i] \quad (5.41)$$

Onde,

H – representa o conjunto de reservatórios para os quais se deseja computar um estado hidrológico;

S_i – é o volume inicial; e

I_i – é a vazão afluyente.

Os estados hidrológicos do modelo são: seco, úmido ou médio, os quais serão definidos em função dos parâmetros x_1 e x_2 ($x_1 < x_2$), a serem estabelecidos pelo usuário. Os estados estão baseados em um volume fixado no início do período, que permanecerá constante durante todo o período da simulação, mesmo que o volume armazenado possa mudar consideravelmente. O limite inferior de estado médio é definido por:

$$LB = x_1 \cdot W \quad (5.42)$$

$$UB = x_2 \cdot W \quad (5.43)$$

Onde,

$$W = \sum_{I \in H} Si_{\max} \quad (5.44)$$

Sendo, Si_{\max} , o volume máximo do reservatório i . Os estados hidrológicos *seco*, *médio* e *úmido* são definidos como:

$$[D] \text{ seco: se } R < LB \quad (5.45)$$

$$[A] \text{ médio: se } LB \leq R \leq UB \quad (5.46)$$

$$[W] \text{ úmido: se } R > UB \quad (5.47)$$

Onde, R é o volume associado ao estado hidrológico considerado. O usuário deverá definir as metas e níveis de prioridades associados aos estado hidrológicos: seco (T_D), médio (T_A) e úmido (T_W), para cada reservatório. Essas metas podem mudar entre períodos dentro de um mesmo ano mas, não de ano para ano.

5.4.3.6 – DEMANDAS E DIRETOS (Prioridades)

Como dito anteriormente, o modelo atribui a cada demanda um valor de prioridade estabelecida pelo usuário, sendo que, quanto maior o valor (até limite 99), menor será a prioridade de atendimento da demanda. As prioridades são calculadas pelo modelo da seguinte forma:

$$C_{id} = - [1000 - (DEM Ri \times 10)] \quad (5.48)$$

Onde, **DEM_{Ri}** representa uma prioridade associada a um número variando entre 1 e 99.

Da Equação 5.48 pode-se observar, assim como o valor de C_i , o valor de C_{iD} é negativo. A esse fato, o usuário deverá estar atento nas definições das prioridades relacionadas com os volumes armazenados nos reservatórios e as demandas, pois, em caso de déficit, as demandas associadas aos menores valores serão consideradas como de maiores prioridades. Caso o usuário esteja utilizando a opção de estados hidrológicos dos reservatórios, o modelo permite, no cálculo das prioridades, que o usuário mude o DEMR entre períodos de simulação, definindo as prioridades para cada um dos três estado definidos anteriormente. Entretanto, assim como para o cálculo dos custos C_{iS} , as prioridades permanecerão constantes de ano para ano.

5.4.4 – O MODELO SimCOMA

Para avaliação das disponibilidades hídricas do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água foi desenvolvido durante esse trabalho um modelo de simulação, denominado SimCOMA (Simulação dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água), com base num algoritmo de transferência de estoques de águas entre eles, que compatibiliza os níveis dos reservatórios. Os reservatórios estão interligados por um canal, com capacidade de transportar até 12 m³/s, situado na cota 237m, ponto em que o sistema é dividido, podendo ser interpretado sob duas formas, do ponto de vista hídrico: estágio superior, considerado como *vasos comunicantes*, responsável pelo armazenamento de 702,2 hm³, que representam, aproximadamente 52% da capacidade total e, o estágio inferior, com capacidade máxima de 656,5 hm³, é responsável por 48% da capacidade total do sistema. Neste estágio os reservatórios são operados separadamente. Em cada um desses estágios o modelo realiza o balanço hídrico em cada reservatório individualmente, compatibilizando as cotas dos volumes finais dos reservatórios.

A interpretação hídrica dada ao sistema por este estudo não é comumente usada em estudos oficiais desse sistema. Tomando como por exemplos: estudos da transposição das águas do São Francisco, o próprio Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia (PDRH/PB, SIENEC, 1997), consideram esse sistema como um único reservatório, interligados na cota do volume mínimo, ou seja, com vasos comunicantes plenos. O comportamento hídrico do sistema, sob o ponto de vista da disponibilidade, em função da interpretação do seu comportamento hídrico, será abordado no Capítulo VI.

O desenvolvimento do algoritmo para simulação do sistema tomou com base a modelagem descrita na Seção 5.3.3, representada conforme mostrada na Figura 5.16. O

modelo de simulação foi desenvolvido via linguagem MatLab, com um programa principal *simul*, responsável pela simulação, trabalhando de forma iterativa com base nas informações de cinco arquivos:

1. Arquivo *dados*, com os valores das variáveis do sistema;
2. Arquivo *qtran*, responsável pela transferência de água entre os reservatórios Coremas e Mãe D'Água, conforme as situações hídricas descritas a seguir;
3. Arquivo *altcot*, opera entrada de volumes mensais e fornece as cotas do nível d'água mensais nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água;
4. Arquivo *espcot*, opera entrada de cotas do nível d'água e fornece as áreas do espelho d'água mensais nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água; e
5. Arquivo *volcot*, opera entrada de cotas do nível d'água e fornece os volumes mensais nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água;

5.4.4.1 – BALANÇO HÍDRICO MENSAL

O balanço hídrico dos reservatórios é efetuado pelo modelo para cada reservatório separadamente, compatibilizando as cotas com base nos seus volumes finais e no estágio nos quais estes podem estar, acima ou abaixo da cota do *canal de ligação*. Neste caso, considerou no desenvolvimento do algoritmo para compatibilização das cotas, seis casos passíveis de ocorrência, onde em duas delas não haverá transferência de volumes entre os reservatórios. Essas situações estão mostradas na Figura 5.18. As equações de balanço para os reservatórios Coremas e Mãe D'Água serão descritas a seguir, com os respectivos dados considerados.

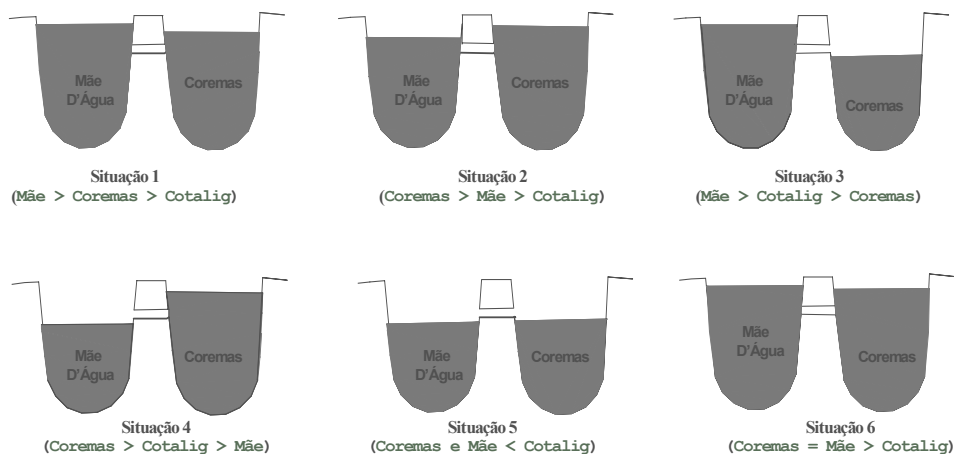
5.4.4.1.1 - RESERVATÓRIO COREMAS

Para o reservatório Coremas são considerados os afluxos dos tributários Piancó (2), e Emas (3) e o percentual do tributário 4, referente à área não controlada pelos reservatórios integrantes dos tributários Piancó e Emas. Os percentuais de contribuição desses tributários são, respectivamente: 25%, 13,6% e 48,8% da área total da bacia de contribuição dos reservatórios. As equações do balanço hídricos, do cálculo das áreas de espelho d'água e para o cálculo dos volumes estão descritas a seguir.

1. Equação do balanço:

$$V_{co}(t_0+1) = V_{co}(t_0) + Q_{Pianc\acute{o}}(t_0) + Q_{Emas}(t_0) + Q_{TR4}(t_0) + (P(t_0) - EV(t_0)) \cdot A_{co}(t_0) - Q_{CO}(t_0) - Q_{lig}(t_0) \quad (5.49)$$

Figura 5.18 – Situações hídricas possíveis no sistema Coremas-Mãe D'Água



Onde,

$V_{co}(t_0+1)$ – Volume de água armazenado no reservatório Coremas no instante de tempo (t_0+1) ;

$V_{co}(t_0)$ - Volume de água armazenado no reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ;

$Q_{Pianc\acute{o}}(t_0)$ – Vazão afluyente do tributário Piancó ao reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ;

$Q_{Emas}(t_0)$ - Vazão afluyente do tributário Emas ao reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ;

$Q_{TR4}(t_0)$ - Vazão afluyente do tributário 4 ao reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ;

$P(t_0)$ – Precipitação na bacia hidráulica do sistema Coremas-Mãe D'Água no instante de tempo (t_0) ;

$EV(t_0)$ - Evaporação na bacia hidráulica do sistema Coremas-Mãe D'Água no instante de tempo (t_0) ;

$A_{co}(t_0)$ – Área do espelho d'água do reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ;

$Q_{CO}(t_0)$ – Vazão de demanda do reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ; e

$Q_{lig}(t_0)$ – Vazão mensal de transferência entre os reservatórios através do canal de ligação no instante de tempo (t_0) ;

2 . Equação de cálculo do Espelho D'Água

A função $x = \text{espc}(y)$ calcula a área do espelho d'água a partir da cota do nível da água do reservatório, através da seguinte expressão:

$$x = 5.253781*(Y_{co}-202)^{N3}*1000 \quad (5.50)$$

Onde,

Yco – é a cota do nível da água no reservatório Coremas num instante qualquer;

N3 – é um expoente de ajusta da curva *cota-área* que assume os seguintes valores, entre as cotas mínima e máxima do reservatório:

- N3 = 2.4814, se $y < 218\text{m}$;
- N3 = 2.4650, se $218\text{m} \leq y \leq 228\text{m}$;
- N3 = 2.4770, se $228\text{m} < y \leq 231\text{m}$;
- N3 = 2.4870, se $231\text{m} < y \leq 235\text{m}$;
- N3 = 2.4890, se $235\text{m} < y \leq 242\text{m}$;
- N3 = 2.4830, se $242\text{m} < y \leq 245\text{m}$;
- N3 = 2.475, se $y > 245\text{m}$;

2 . Equação de cálculo da Cota do Nível D'água

A função $x = \text{altco}(y)$ calcula a cota do nível d'água a partir do volume do reservatório, através da seguinte expressão::

$$x = (Y_{co} / 8909.98)^{N3} + 202 \quad (5.51)$$

Onde,

Yco – é o volume de água armazenado no reservatório Coremas num instante qualquer;

N3 – é um expoente de ajusta da curva *cota-volume* que assume os seguintes valores, entre as cotas mínima e máxima do reservatório:

- N3 = 0.3367003, se $y < 31,771 \text{ hm}^3$;
- N3 = 0.3389831, se $31,771 \leq y \leq 183,633 \text{ hm}^3$;
- N3 = 0.3355705, se $183,633 < y \leq 298,571 \text{ hm}^3$;
- N3 = 0.3333333, se $298,571 < y \leq 570,238 \text{ hm}^3$;
- N3 = 0.3328452, se $570,238 < y \leq 720,230 \text{ hm}^3$;
- N3 = 0.3331113, se $y > 720,230 \text{ hm}^3$;

3 . Equação de cálculo do Volume de Água

A função $x = \text{volco}(y)$ calcula o volume de água armazenado no reservatório a partir da cota do nível da água, através da seguinte expressão:

$$x = (8.90998 * (Y_0 - 202)^{N_3}) * 1000 \quad (5.52)$$

Onde,

Y_0 – é a cota do nível de água no reservatório Coremas num instante qualquer;

N_3 – é um expoente de ajusta da curva *cota-volume* que assume os seguintes valores, entre as cotas mínima e máxima do reservatório:

- $N_3 = 2.970$, se $y < 218\text{m}$;
- $N_3 = 2.950$, se $218\text{m} \leq y \leq 231\text{m}$;
- $N_3 = 2.980$, se $231\text{m} < y \leq 235\text{m}$;
- $N_3 = 3.000$, se $235\text{m} < y \leq 242\text{m}$;
- $N_3 = 3.004$, se $242\text{m} < y \leq 245\text{m}$; e
- $N_3 = 3.002$, se $y > 245\text{m}$;

5.4.4.1.2 - RESERVATÓRIO MÃE D'ÁGUA

Para o reservatório Mãe D'Água são considerados os afluxos dos tributários: Aguiar (tributário-01) e o percentual do tributário-04, referente à área não controlada pelos reservatórios. Os percentuais de contribuição desses tributários são, respectivamente: 0,73% e 0,12% da área total da bacia de contribuição dos reservatórios. As equações do balanço hídricos, do cálculo das áreas de espelho d'água e para o cálculo dos volumes estão descritas a seguir.

1 . Equação do balanço:

$$V_{MA}(t_0+1) = V_{MA}(t_0) + Q_{Aguiar}(t_0) + Q_{TR4}(t_0) + (P(t_0) - EV(t_0)) \cdot A_{MA}(t_0) - Q_{MA}(t_0) - Q_{lig}(t_0) \quad (5.53)$$

Onde,

$V_{MA}(t_0+1)$ – Volume de água armazenado no reservatório Mãe D'Água no início do instante de tempo (t_0+1) ;

$V_{MA}(t_0)$ - Volume de água armazenado no reservatório Coremas no instante de tempo (t_0) ;

$Q_{\text{Aguiar}}(t_0)$ – Vazão afluente do tributário Aguiar ao reservatório Mãe D'Água no instante de tempo (t_0);

$Q_{\text{TR4}}(t_0)$ - Vazão afluente do tributário 04 ao reservatório Mãe D'Água no instante de tempo (t_0);

$P(t_0)$ – Precipitação na bacia hidráulica do sistema Coremas-Mãe D'Água no instante de tempo (t_0);

$EV(t_0)$ - Evaporação na bacia hidráulica do sistema Coremas-Mãe D'Água no instante de tempo (t_0);

$A_{\text{MA}}(t_0)$ – Área do espelho d'água do reservatório Mãe D'Água no instante de tempo (t_0);

$Q_{\text{MA}}(t_0)$ – Vazão de demanda do reservatório Mãe D'Água no instante de tempo (t_0); e

$Q_{\text{lig}}(t_0)$ – Vazão mensal de transferência entre os reservatórios através do canal de ligação no instante de tempo (t_0);

2 . Equação de cálculo do Espelho D'Água

A função $x = \text{espma}(y)$ calcula a área do espelho d'água a partir da cota do nível da água do reservatório, através da seguinte expressão::

$$x = K3*(Y_{\text{co}}-202)^{N3}*1000 \quad (5.54)$$

Onde,

Y_{co} – é a cota do nível da água no reservatório Mãe D'Água num instante qualquer;

$K3$ e $N3$ – são coeficientes de ajusta da curva *cota-área* que assumem os seguintes valores, entre as cotas mínima e máxima do reservatório:

- $K3 = 0.230$ e $N3 = 3.36$, se $y \leq 220\text{m}$;
- $K3 = 0.230$ e $N3 = 2.4650$, se $220\text{m} \leq y \leq 231\text{m}$;
- $K3 = 0.230$ e $N3 = 3.3460$, se $231\text{m} < y \leq 236\text{m}$;
- $K3 = 0.240$ e $N3 = 3.323$, se $236\text{m} < y \leq 239\text{m}$;
- $K3 = 0.230$ e $N3 = 3.320$, se $239\text{m} < y \leq 242\text{m}$;
- $K3 = 0.226$ e $N3 = 3.3075$, se $242\text{m} < y \leq 244\text{m}$;e
- $K3 = 0.220$ e $N3 = 3.302$, se $y > 244\text{m}$.

2 . Equação de cálculo da Cota do Nível D'água

A função $x = \text{altma}(y)$ calcula a cota do nível d'água a partir do volume do reservatório, através da seguinte expressão::

$$x = (Y_{MA} / 242.9808)^{N3} + 202 \quad (5.55)$$

Onde,

Y_{MA} – é o volume de água armazenado no reservatório Mãe D'Água num instante qualquer;

$N3$ – é um expoente de ajusta da curva *cota-volume* que assume os seguintes valores, entre as cotas mínima e máxima do reservatório:

- $N3 = 0.2608242$, se $y < 16,823 \text{ hm}^3$;
- $N3 = 0.2593361$, se $16,823 \leq y \leq 25,253 \text{ hm}^3$;
- $N3 = 0.2570694$, se $25,253 < y \leq 148,913 \text{ hm}^3$;
- $N3 = 0.2548420$, se $148,913 < y \leq 248,368 \text{ hm}^3$;
- $N3 = 0.2544465$, se $248,368 < y \leq 656,530 \text{ hm}^3$;e
- $N3 = 0.2547771$, se $y > 656,530 \text{ hm}^3$.

3 . Equação de cálculo do Volume de Água

A função $x = \text{volma}(y)$ calcula o volume de água armazenado no reservatório a partir da cota do nível da água, através da seguinte expressão:

$$x = (0.2429808 * (Y_0 - 202)^{N3}) * 1000 \quad (5.56)$$

Onde,

Y_0 – é a cota do nível de água no reservatório Mãe D'Água num instante qualquer;

$N3$ – é um expoente de ajusta da curva *cota-volume* que assume os seguintes valores, entre as cotas mínima e máxima do reservatório:

- $N3 = 3.834$, se $y < 220\text{m}$;
- $N3 = 3.856$, se $220\text{m} \leq y \leq 222\text{m}$;
- $N3 = 3.890$, se $222\text{m} < y \leq 227\text{m}$;
- $N3 = 3.918$, se $227\text{m} < y \leq 232\text{m}$;
- $N3 = 3.924$, se $232\text{m} < y \leq 236\text{m}$;
- $N3 = 3.930$, se $236\text{m} < y \leq 245\text{m}$; e
- $N3 = 3.925$, se $y > 245\text{m}$.

5.4.4.2 – TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA ENTRE OS RESERVATÓRIOS

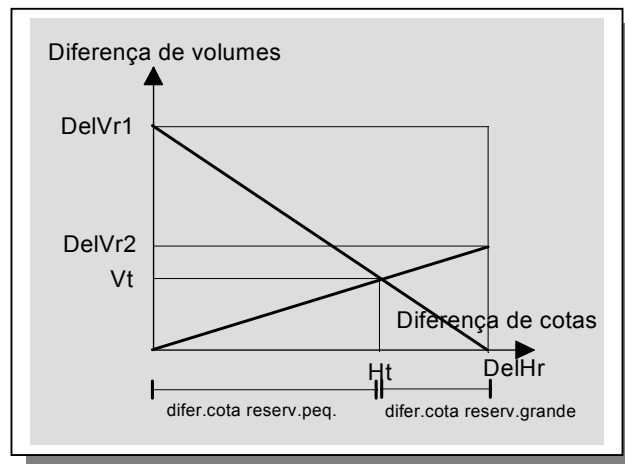
Após fazer o balanço hídrico em cada reservatório, tem-se que achar o volume de água a ser transferido de um para outro no sentido de compatibilizar suas cotas finais. Para isso precisa-se obter os seguintes dados, conforme mostrado na Figura 5.19:

- **Hr(1)** - cota do nível de água no reservatório 1;
- **Vr1(1)** - volume de água no reservatório 1 na cota Hr(1);
- **Hr(2)** - cota do nível de água no reservatório 2; e
- **Vr2(2)** - volume de água no reservatório 2 na cota Hr(2).

Para se calcular:

- **Vr1(2)** - volume de água no reservatório 1 na cota Hr(2);
- **Vr2(1)** - volume de água no reservatório 2 na cota Hr(1);
- **DelHr** = abs (Hr(2)-Hr(1));
- **DelVr1** = abs (Vr1(2)-Vr1(1)) ; e
- **DelVr2** = abs (Vr2(2)-Vr2(1)).

Figura 5.19 – Esquema de transferência de volume entre os reservatórios



Para calcular o volume de transferência (Vt) com compatibilidade das cotas dos reservatórios (Ht), usando a linearização da relação Cota x Volume, tem-se as seguintes equações das retas:

- Para a cota menor

$$Hr2(t) = (DelHr / DelVr2) \cdot Vr2(t) \quad (5.57)$$

- Para a cota maior

$$Hr1(t) = DelHr - (DelHr / DelVr1) \cdot Vr1(t) \quad (5.58)$$

Onde,

$Vr1(t)$ e $Vr2(t)$ – são os volumes transferidos; e

$Hr1(t)$ e $Hr2(t)$ – são os incrementos nas cotas dos reservatórios a partir da menor cota

Igualando as expressões 5.57 e 5.58, ou seja, $Ht = Hr1(t) = Hr2(t)$, obtém-se o volume a ser transferido, dado pela seguinte expressão:

$$Vt = (\text{DelVr1} \cdot \text{DelVr2}) / (\text{DelVr1} + \text{DelVr2}) \quad (5.59)$$

5.4.5 – INTEGRAÇÃO E DADOS DE ENTRADA DOS MODELOS

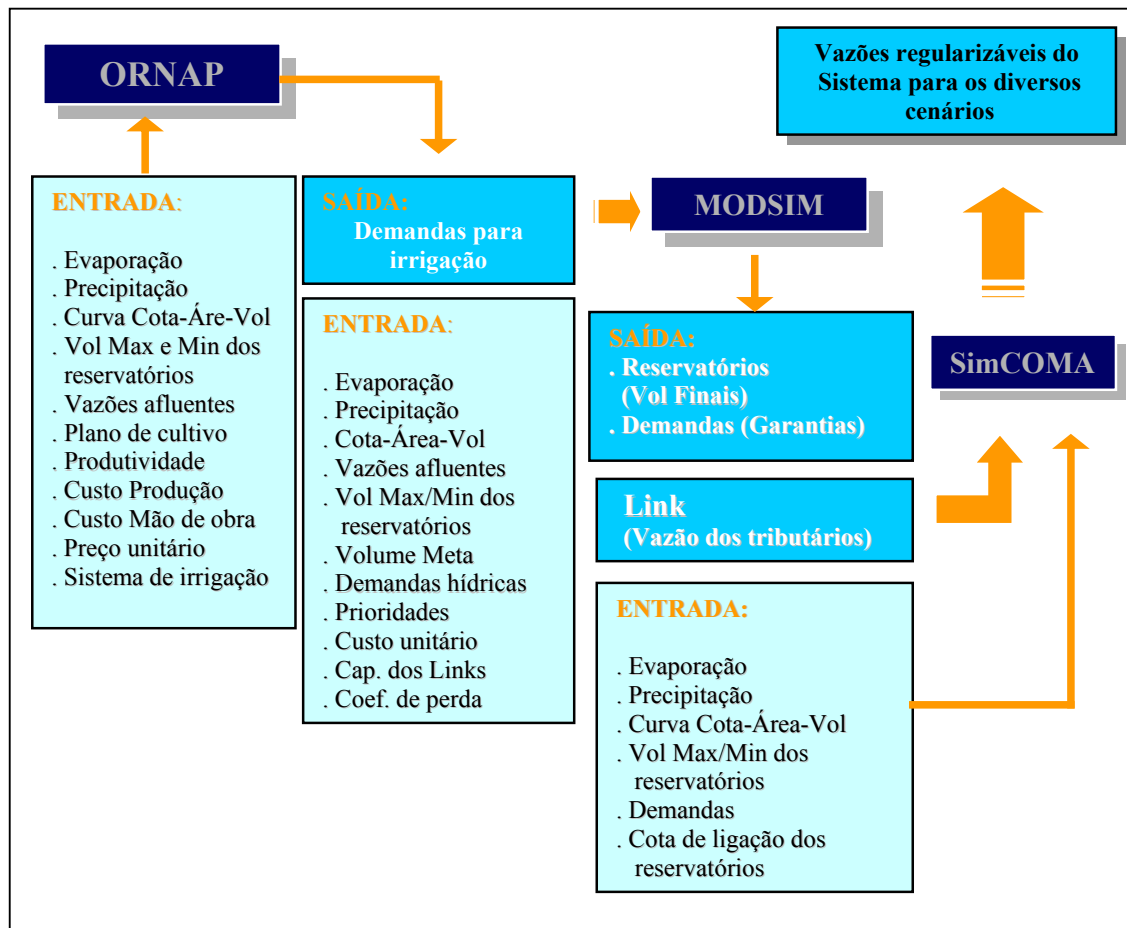
Como dito anteriormente, para estudo das disponibilidades do sistema foi necessária a utilização de três modelos matemáticos, descritos na seção anterior. A integralização entre os modelos teve as seguintes fases:

- Primeira fase: foi utilizado o modelo de otimização ORNAP para determinação das demandas hídricas dos perímetros irrigados a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água: Poço Redondo, Bruscas, Gravatá, Piancó II, III e Brotas;
- Segunda fase: com as demandas hídricas otimizadas obtidas para esses perímetros passou-se a segunda fase do estudo com a utilização do modelo de simulação MODSIM. Neste modelo, além dos dados de irrigação foram incrementadas as demandas de abastecimento das cidades atendidas pelos reservatórios, prioridades, volumes mínimos nos reservatórios, além dos dados de vazões afluentes dos tributários e sub-sistemas (fornecidos pelo referido modelo), para os diversos cenários e situações idealizadas para o estudo do sistema, conforme descrito no Capítulo VII; e
- Terceira fase: a partir dos dados de vazões afluentes fornecidos pelo modelo MODSIM, iniciou-se os estudos das disponibilidades do sistema Coremas-Mãe D'Água, com o uso do modelo de simulação SimCOMA, especificamente desenvolvida para o sistema, para os diversos cenários e situações estudadas, conforme apresentado no Capítulo VII

Vale ressaltar que a não utilização do modelo MODSIM P32 para simulação do sistema Coremas-Mãe D'Água foi devido ao fator determinante desse sistema, associado a limitação física, onde apenas uma parte do reservatório, acima da cota 237m (canal de ligação), o sistema pode ser considerado como *vasos comunicantes*. A partir dessa cota, os

reservatórios operam individualmente. O modelo MODSIM P32 não consegue simular essa mudança de comportamento hídrico, por uma das suas hipóteses, a de que cada arco (ligação) admite apenas um sentido de fluxo. Na sendo possível, portanto, representar via referido modelo, as transferências de volumes entre tais reservatórios. A interligação entre os modelos, com os respectivos dados de entrada e as respostas de cada modelo utilizado, está mostrada no fluxograma representado na Figura 5.20.

Figura 5.20 – Fluxograma de integração e dados dos modelos usados.



CAPÍTULO VI

DADOS DO SISTEMA

6.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Serão apresentados e discutidos os dados utilizados no estudo de otimização do sistema representado pela Figura 5.4, sua obtenção e métodos utilizados no tratamento, a partir de dados originários de diversas fontes, tais como: instituições de governo em esfera federal e estadual, empresas privadas e, principalmente, do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PDRH/PB (SCIENTEC, 1997). Serão apresentados neste projeto de tese apenas os principais elementos para alimentação do modelo, de forma sucinta.

6.2 – PRECIPITAÇÃO

Neste estudo foram utilizados valores de precipitação do banco de dados da SEMARH, consistidos pelo método do vetor regional. Os dados de precipitação direta sobre os reservatórios foram considerados os postos pluviométricos mais próximos dos respectivos reservatórios. Para a precipitação direta dos perímetros irrigados foram considerados valores médios para um ano normal do mesmo posto do reservatório e, para os perímetros ao longo do rio Piancó, postos inseridos ou próximos das áreas dos respectivos perímetros. A Tabela 6.13 mostra os reservatórios e os postos utilizados na simulação.

6.3 – EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

A estimativa dos volumes médios mensais evaporados em reservatórios é obtida pela multiplicação da área do espelho d'água pela correspondente lâmina de evaporação. Não se obtendo, em geral, de medições locais de evaporação, pode-se lançar mão do uso de registro existente em regiões próximo aos reservatórios, desde que sejam resguardadas as condições fisiográficas semelhantes. Para representar a evaporação em reservatórios, é comum na prática, o uso de dados do *Tanque Classe A*, aplicando um fator de correção K_T . Os valores desse fator podem variar entre 0,7 e 1,0, sendo mais provável, entre os valores de 0,80 e 0,85 (LARAQUE, 1989). Os dados de evaporação média mensal para os vinte e quatro reservatórios estudados, foram obtidos do posto Climatológico de Coremas, conforme mostrados na Tabela 6.14.

Tabela 6.13 – Reservatórios e postos pluviométricos utilizados nas simulações

Reservatório	Posto utilizado					Precipitação Méd. Anual (mm)
	Nome	Código	Longitude	Latitude	Altitude (m)	
B. dos Cochos	Coremas Aç.	3844008	37°58'	7°01'	220	860,6
Frutuoso II	Aguiar	3843166	38° 11'	7° 05'	280	744,1
Video	Boa Ventura	3843857	38° 13'	7° 24'	300	804,4
Vazante	Boa Ventura	3843857	38° 13'	7° 24'	300	804,4
Piranhas	Ibiara	3843919	38° 25'	7° 29'	330	974,7
Serra Vermelha I	Conceição	3852197	38° 31'	7° 33'	370	879,0
Condado	Conceição	3852197	38° 31'	7° 33'	370	879,0
Santa Inês	Conceição	3852197	38° 31'	7° 33'	370	879,0
Poço Redondo	Ibiara	3843919	38° 25'	7° 29'	330	974,7
Catolé	Manaira	3853467	38° 11'	7° 42'	605	929,5
Cachoeira dos Alves	Itaporanga	3843667	38° 10'	7° 18'	230	813,6
Bruscas	Nova Olinda	3843992	38° 03'	7° 28'	315	834,1
Saco de N. Olinda	Nova Olinda	3843992	38° 03'	7° 28'	315	834,1
Jatobá II	Princesa Isabel	3853499	38° 01'	7° 44'	660	824,1
Canoas	Nova Olinda	3843992	38° 03'	7° 28'	315	834,1
Tavares	Juru	3854036	37° 50'	7° 32'	470	801,4
Queimadas	Garrotes	3844703	38° 00'	7° 23'	305	728,5
Emas	Catingueira	3844279	37° 37'	7° 08'	290	945,0
Cachoeira dos Cegos	Catingueira	3844279	37° 37'	7° 08'	290	945,0
Garra	Imaculada	3845703	37° 30'	7° 23'	750	655,5
Jenipapeiro	Imaculada	3845703	37° 30'	7° 23'	750	655,5
Timbaúba	Juru	3854036	37° 50'	7° 32'	470	801,4
Bom Jesus	Água Branca	3854072	37° 39'	7° 31'	710	712,1
Glória	Juru	3854036	37° 50'	7° 32'	470	801,4

Fonte: PDRH/Pb (SCIENTEC, 1997b, p.71)

Tabela 6.14 - Dados de evaporação média mensal do Tanque Classe A.

Posto Climatológico	Evaporação média mensal (mm)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
COREMAS	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997b, p.66)

6.4 – VAZÕES AFLUENTES

Os dados de vazões afluentes aos reservatórios foram obtidos do Banco de Dados da Secretaria Extraordinária de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba - SEMARH. A série pseudo-histórica de vazões foi gerada pelo o modelo hidrológico *chuva x vazão* MODHAC (Modelo Hidrológico Auto Calibrável), para uma série de precipitação média diária de 57 anos, optando-se por uma abordagem determinística conceitual através da utilização do referido modelo.

Uma visão esquemática da concepção física do modelo é apresentada na Figura 6.21. O MODHAC é uma versão aperfeiçoada do MOHTSAR - Modelo Hidrológico para o Trópico do semi-árido (LANNA e MARWELL, 1986), que se aplica, não só às bacias de regime semi-árido do Nordeste do Brasil, como também, àquelas de clima temperado úmido. O modelo foi calibrado utilizando-se duas sub-séries 1964/85 e 1975/85 e validada para a série de 1985/89, do posto fluviométrico de Piancó (37360000), onde foram geradas as séries de deflúvios médios mensais a partir de dados de precipitação totais diários, com extensão de 57 anos (1933 a 1989). Os valores dos parâmetros calibrados estão mostrados na Tabela 6.15.

No trabalho, por não se dispor do mesmo período da série pseudo-histórica de vazões para todos os reservatórios, adotou-se como período de estudo do sistema, a série de 53 anos que abrange os anos de 1937 a 1989.

6.5 – DADOS DOS RESERVATÓRIOS

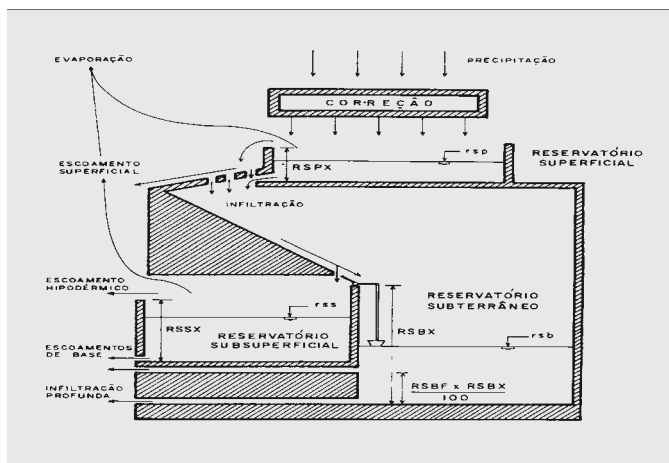
Conforme dito anteriormente, o sistema global é composto de 24 principais reservatórios distribuídos em três tributários, visto que, o tributário 4 é formado pela área de contribuição não controlada do sistema Coremas-Mãe D'Água. Na Tabela 6.16 estão listados os reservatórios por tributário e os sub-sistemas a que estão ligados, com seus volumes máximos e mínimos e suas respectivas áreas de contribuição.

Os dados das curvas *cota-área-volume* dos 24 reservatórios componentes do sistema foram obtidos do Cadastro de Açude do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Piranhas e Piancó - PDRH/PB (SCIENTEC, 1997c). As equações das curvas *cota-área-volume*, utilizadas no modelo SimCOMA para simulação do sistema, foram obtidas das Equações 5.50, 5.51, 5.52 para o reservatório Coremas e 5.54, 5.55 e 5.56 para o reservatório Mãe D'Água.

6.6 – DEMANDAS HÍDRICAS

Na bacia estudada foram consideradas duas categorias de demandas hídricas: as demandas de montante e de jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água. As demandas de montante compreendem: abastecimento urbano, irrigação e piscicultura e as demandas de jusante, mais abrangente englobam: abastecimento urbano, irrigação, piscicultura, geração de energia e perenização do rio Piancó.

Figura 6.21 - Estrutura do modelo MODHAC



Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997b, p. 120).

Tabela 6.15 – Dados dos parâmetros calibrados para o posto fluviométrico Piancó

SUB-SÉRIE	PARÂMETROS								
	1964-1985	RSBX	RSSX	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	CEVA
Valores		131,3	162,2	162,2	96,13	48,46	0,1096	0,00592	0,5289

Siglas:

RSPX - capacidade máxima do reservatório superficial, sendo função desta o retardo na resposta do escoamento superficial à ocorrência de chuva; representa todas as retenções, inclusive a açudagem difusa;

RSSX - capacidade máxima do reservatório subsuperficial. Em consequência de estar relacionada com a retenção na zona de atividade radicular dos vegetais, atua sobre as perdas por evapotranspiração e alimentação do escoamento em curtos períodos de estiagem;

RSBX - capacidade máxima do reservatório subterrâneo. Tomado como nulo no caso de bacias da região semi-árida do Nordeste do Brasil (formação cristalina); valores elevados encontram-se nas bacias sedimentares;

IMIN - infiltração mínima. É utilizado fundamentalmente para transladar os escoamentos no tempo, e seu efeito é semelhante ao parâmetro RSPX;

IMAX - permeabilidade do solo. Seu valor é proporcional a permeabilidade e, em função da heterogeneidade dos solos que compõem a área drenada e das chuvas que ocorram, esse parâmetro pode perder efeito na calibração;

IDEC - coeficiente de infiltração. Influência a inter-relação entre os parâmetros IMIN e IMAX;

ASB - expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo. Entra na calibração apenas no caso de RSBX diferente de zero;

CEVA - parâmetro da lei de evapotranspiração do solo, variando entre 0 e 1; sua elevação determina maiores perdas por evapotranspiração.

Fonte: SCIENTEC, 1997, p.129.

As estimativas das demandas de montante tiveram como base o referido Plano Diretor da Bacia – PDRH/PB e as demandas de jusante foram obtidas do documento do Marco Regulatório para administração dos usos das águas do Sistema Curema-Açu, através de convênio firmado entre os governos Estaduais da Paraíba e do Rio Grande do Norte, a Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

(DNOCS). As técnicas para obtenção das demandas que se seguem nas próximas seções, referem-se as demandas de montante, visto que, as de jusante serão admitidos os valores apresentados no relatório do referido Marco Regulatório, consolidado e aceitos pelos órgãos gestores dos Estados e da União, responsáveis pela sua elaboração.

Tabela 6.16 – Dados dos reservatórios estudados

Tributários	Sub-sistema	Reservatórios		Volumes (hm ³)		Área controlada (km ²)
		Principais	Montante	Máximo	Mínimo	
Trib - 01		Frutuoso II		4,20	2,00	42,48
		Boqueirão dos Cochós		3,52	0,17	20,86
Trib - 02	SS-01	Vazante		9,09	0,45	118,83
			Video	6,04	0,30	23,44
		Piranhas		25,69	1,28	199,59
		Serra Vermelha I		11,80	0,59	57,46
		Condado		35,01	1,75	127,56
		Santa Inês		26,11	0,83	103,91
		Poço Redondo*		49,27	3,33	325,76
			Catolé	10,50	0,50	132,51
	SS-02	Cachoeira dos Alves		10,61	0,54	112,20
		Bruscas		38,20	1,91	228,70
	SS-03	Saco de N. Olinda		97,48	4,87	288,40
			Jatobá II	6,49	0,32	64,16
		Canoas*		36,850	2,40	206,49
		Tavares	6,47	0,32	53,51	
	Queimada		15,62	0,78	125,21	
Trib - 03		Emas		2,01	0,32	40,96
		Cachoeira dos Cegos		80,00	3,45	283,64
		Garra*		15,50	0,12	234,80
		Jenipapeiro		70,00	5,20	402,59
			Timbaúba	15,44	0,29	84,89
			Bom Jesus	3,41	0,35	94,47
			Glória	1,35	0,09	38,52

(*) – Reservatórios não concluídos. Os volumes apresentados são sugeridos pelo estudo das capacidades ótimas para esses reservatórios, desenvolvido pelo autor .

6.6.1 – DEMANDAS ATUAIS

6.6.1.1 – DEMANDAS DE MONTANTE

6.6.1.1.1 – ABASTECIMENTO URBANO

Dos vinte e quatro reservatórios estudados, dezesseis estão comprometidos com o abastecimento urbano: Piranhas, Serra Vermelha I, Poço Redondo, Catolé II, Bruscas, Cachoeira dos Alves, Saco de Nova Olinda, Queimadas, Jatobá II, Emas, Cachoeira dos Cegos, Jenipapeiro, Bom Jesus, Glória, Boqueirão dos Cochós e Frutuoso II.

Para primeira etapa do estudo (Diagnóstico) foram efetuados os balanços hídricos dos reservatórios com base nas demandas referentes ao ano de 2002 fornecidos pela Agência de Água, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba - AAGISA, de acordo com as retiradas em cada um dos dezesseis reservatórios. Para a segunda etapa do trabalho (Planejamento) foram projetadas as demandas de abastecimento para o horizonte de 20 anos (ano 2023), com base na previsão de população do estudo do próprio plano diretor da bacia. O método utilizado nesta previsão será apresentado na etapa de Planejamento.

Na Tabela 6.17 estão listados os reservatórios com as respectivas localidades abastecidas, as populações no ano 2.000 e as demandas hídricas referente ao ano 2002 de cada município beneficiado pelo sistema, consideradas no estudo como demandas atuais.

Tabela 6.17 - Demandas hídricas para abastecimento urbano por reservatório estudado.

Reservatório	Municípios atendidos	População Urbana (hab)	Demanda (l/s)
		2000	2002
1. Piranhas	Ibiara	3.625	5,0
2. Serra Vermelha I	Conceição	12.408	31,2
3. Poço Redondo	Santana de Mangueira	1.809	3,2
4. Catolé II	Manaíra	6.662	10,8
5. Cachoeira dos Alves	Itaporanga	17.493	44,2
6. Bruscas	Curral Velho	1.344	1,8
7. Saco de Nova Olinda	Nova Olinda	4.158	6,9
8. Jatobá II	Princesa Isabel	17.384	46,2
9. Queimadas	Santana dos Garrotes	4.053	6,7
10. Emas	Emas	2.201	3,9
11. Cachoeira dos Cegos	Catingueira	1.916	3,3
12. Jenipapeiro	Olho D'Água	3.418	5,6
13. Bom Jesus	Água Branca	3.510	5,7
14. Glória	Juru	5.466	8,8
15. Boqueirão dos Cochós	Igaracy	5.652	9,0
16. Frutuoso II	Aguiar	2.922	5,0

Fonte: AAGISA

6.6.1.1.2 - IRRIGAÇÃO

No estudo do comportamento hídrico do sistema foram considerados seis perímetros irrigados existentes a montante dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, implantados e a serem implantado (ou implantados parcialmente), totalizando uma área de aproximadamente 4.500 ha. Na avaliação das demandas hídricas de irrigação foi estabelecido primeiramente um plano de cultivo para perímetros considerado no estudo, com base nas aptidões agrícolas dos estudos de viabilidade, realizados anteriormente e, também, considerando os sistemas de irrigação já implantados. Esses sistemas foram responsáveis pela limitação da implantação de algumas culturas, em alguns perímetros. Por exemplo, para o perímetro Piancó II não foi possível implantar culturas perenes, visto que o sistema de irrigação por aspersão

convencional não é recomendável para irrigação de tais culturas. Neste trabalho foram selecionadas dezessete culturas, das quais, oito são perenes e semi-perenes e nove culturas sazonais (temporárias). As principais características técnicas do projeto estão mostradas na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 - Principais características técnicas dos projetos de irrigação

Projeto	Fonte Hídrica	Área (ha)	Culturas a serem Irrigadas (previstas)	Sistema de irrigação (projeto)	Consumo previsto (10 ⁶ m ³)
Piancó II	Rio Piancó	1.000	Arroz, Feijão, Banana, Milho, Tomate, Cenoura, Pimentão, Algodão e Amendoim	Aspersão Convencional, Pivô Central	19,5
Piancó III	Rio Piancó	1.000	Manga, Coco, Graviola, Mamão, Maracujá, Limão, Melancia, Melão, Feijão, Abóbora, Pimentão e Algodão	Microaspersão Aspersão Convencional	19,5
Piancó-Brotas	Rio Piancó	285	Manga, Coco, Graviola, Mamão, Melancia, Melão, Feijão, Banana, Tomate e Algodão	Aspersão Convencional, Inundação	4,6
Brucas *	Riacho Brucas	500	Manga, Acerola, Goiaba, Repolho, Melancia, Melão, Feijão, Banana, Jerimum e Algodão	Aspersão Convencional	8,0
Gravatá	Açudes Saco de Nova Olinda e Canoas	934	Arroz, Feijão, Tomate, Algodão Milho, Melancia, Melão, Amendoim e Banana.	Aspersão Sulco e Inundação	23,5
Poço Redondo*	Açude Poço Redondo	500	Manga, Coco, Graviola, Mamão, Melancia, Melão, Feijão, Banana, Tomate e Algodão	Aspersão Convencional	8,0

(*) – considerando o consumo por aspersão convencional – q = 1,55/l.ha, durante o período de 4 meses

Fontes: Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó - COIPPI

Devido a sazonalidade do mercado consumidor e, conseqüentemente, do preço de venda das culturas, neste estudo foram estabelecidas duas culturas representativas: uma das culturas perenes e semi-perenes e outra das culturas temporárias. Para tais culturas, foram adotadas as médias dos seus coeficientes característicos, tais como: produtividade, preço médio de mercado, trabalho médio requerido, custo atual de trabalho, etc. Na Tabela 6.19 estão representados os cinco coeficientes característicos das culturas, adotados pelo estudo, com os respectivos valores médios referentes à entressafra, ou seja, com irrigação. Os valores foram obtidos através de consultas realizadas junto a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), a Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó (COIPPI) e a Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA).

Tabela 6.19 – Parâmetros médios adotados para as culturas temporárias, perenes e semi-perenes.

Culturas	Parâmetros característicos das culturas				
	1	2	3	4	5
Temporárias					
1. Algodão (herb. 8H)	3.000	1,20	1.268,00	119	8,00
2. Feijão (Macaçar)	1.200	1,00	908,00	56	8,00
3. Milho (Doce)	5.000	0,70	1.017,00	62	8,00
4. Melancia	25.000	0,26	1.814,00	115	8,00
5. Melão	15.000	0,50	2.422,00	137	8,00
6. Cebola	15.000	0,36	3.113,00	141	8,00
7. Tomate (Industrial)	24.000	0,57	3.596,00	252	8,00
8. Cenoura	30.000	0,45	4.191,00	235	8,00
9 Pimentão	20.000	0,70	2.807,00	192	8,00
Média	15.356	0,64	2.348,40	145	8,00
Perenes e semi-perenes					
1. Banana (Pacovan)	40.000	0,40	2.511,40	188	8,00
2. Manga (Tommy)	5.000	0,18	2.013,60	85	8,00
3. Coco (Anão)	30.000	0,37	1.161,00	100	8,00
4. Graviola	7.000	1,50	1.880,80	105	8,00
5. Goiaba	4.000	0,36	1.898,00	135	8,00
6. Pinha	7.000	0,87	1.880,80	105	8,00
7. Mamão (Havai)	30.000	0,45	2.989,00	216	8,00
8. Maracujá	10.000	0,63	1.955,70	152	8,00
Média	16.625	0,60	2.036,30	136	8,00
Colunas:					
1 – Produtividade média (Kg/ha/ano) 2 – Preço médio de venda (R\$/Kg) 3 - Custo médio de produção (R\$/ha/ano) 4 – Trabalho médio requerido (dia/ha/ano) 5 – Custo atual de trabalho (R\$/homemdia)					

O plano de cultivo dos perímetros irrigados e seus respectivos coeficientes de cultivo (Kc) estão mostrados na Tabela 6.20, Gomes, (1999). Para as culturas semi-perenes e perenes foram considerados os valores de Kc na fase de produção.

Quanto ao sistema de irrigação, foi adotado, para as culturas perenes e semi-perenes, o sistema por microaspersão e para as culturas temporárias, o sistema por aspersão convencional, mesmo sabendo-se que este sistema não seria adequado para algumas culturas temporárias que, devido as suas características peculiares, seria mais adequado o uso do sistema por microaspersão. Na Tabela 6.20 estão apresentados dados dos dois sistemas utilizados na determinação das demandas de irrigação.

As demandas hídricas demandas mensais para irrigação foram obtidas com a utilização do modelo de otimização ORNAP (CURI e CURI, 1999), descrito na Seção 5.4.2 do Capítulo V, a partir dos dados das culturas temporárias e perenes e dos sistemas de irrigação apresentados para os seis perímetros considerados no estudo. Com exceção do perímetro Piancó II, que será alocada toda área para culturas temporárias (sazonais), para o restante dos perímetros foi considerada uma distribuição de áreas de 70% para culturas perenes e 30% para culturas temporárias. A adoção destes percentuais foi resultado de consultas técnicas a

gerentes de perímetros da SEMARH (órgão responsável pela gerência dos perímetros irrigados do Estado), os quais afirmaram que a adoção de percentual inferior a 70% da área total do perímetro destinado para as culturas perenes, no caso dos perímetros estudados, causaria prejuízo econômico e, conseqüentemente, inviabilizaria a implantação do empreendimento.

Tabela 6.20 – Distribuição dos coeficientes mensais de cultivo das culturas (Kc)

Culturas	Meses do ano hidrológico											
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Temporárias	Entressafra					Período chuvoso						
Algodão (herbáceo 8H)	0,45	0,75	1,15	0,75			0,45	0,75	1,15	0,75		
Feijão (Macaçar)	0,75	1,15	0,80				0,70	1,10	0,90	--		
Milho (Doce)	0,75	1,07	1,00	0,70			0,75	1,07	1,00	0,70		
Melancia		0,65	0,95	0,83	0,75				0,65	0,95	0,83	0,75
Melão		0,45	0,75	1,00	0,75				0,45	0,75	1,00	0,75
Cebola		0,50	0,75	1,05	0,85				0,50	0,75	1,05	0,85
Tomate		0,45	0,75	1,15	0,80				0,45	0,75	1,15	0,80
Cenoura		0,45	0,75	1,05	0,90				0,45	0,75	1,05	0,90
Pimentão		0,35	0,70	1,05	0,90				0,35	0,70	1,05	0,90
Média	0.65	0.65	0.84	0.95	0.83		0.63	0.97	0.66	0.76	1.02	0.83
Permanentes												
Banana (Pacovan)	1,10	1,10	1,10	1,0	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Manga (Tommy)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Coco (Anão)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Graviola	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Goiaba	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Pinha	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Mamão (Havai)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Maracujá	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Média	0.76	0.76	0.76	0.74	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76

Fonte: Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados. Aspersão e gotejamento (Gomes, 1999)

Tabela 6.21 – Dados dos sistemas de irrigação propostos por cultura

Tipo de Cultura	Sistema de Irrigação	Eapl (%)	Pirr (R\$/ha)	Vida Útil (anos)	Tam (%/ano)	Cbomb Med (R\$/ha)
Temporária	Aspersão	70	2.000,00	10	8,0	175,60
Perene e semi-perene	Microaspersão	85	3.500,00	10	8,0	567,45
Siglas:						
Eapl – Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por cultura; Pirr – Custo de investimento de implantação do sistema; Vutil – Vida útil do sistema de irrigação; Tam – Taxa anual de amortecimento do investimento com o sistema de irrigação e Cbomb – custo anual de bombeamento por hectare.						

Fonte: COIPI – Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó, 2003

Para a obtenção das demandas hídricas mensais dos perímetros irrigados pelo modelo foi considerado, para o cálculo do balanço hídrico do solo, um ano hidrológico normal com base na série do posto pluviométrico representativo das precipitações nas respectivas áreas

dos perímetros. Lima e Passerat, 2000, utilizaram um cenário climático normal para avaliação das demandas de irrigação na bacia do rio Taperoá, onde obtiveram demandas hídricas médias mensais superiores nesse cenário do que em um ano climático seco. Este cenário foi estabelecido como representativo para as precipitações sobre os perímetros irrigados. A situação climática Normal foi definida como:

$$\text{Situação Climática Média (Normal)} \dots\dots\dots \bar{X} - s / 2 \leq P \leq \bar{X} + s / 2 \quad (6.1)$$

Onde,

P – é a precipitação total anual;
 \bar{X} - representa a média; e
s – representa o desvio padrão

Na Tabela 6.22 estão relacionadas às demandas hídricas mensais em termos de vazão, consumo unitário e volumes para os respectivos perímetros.

6.6.1.1.3 – PISCICULTURA

A prática do uso da piscicultura em reservatórios é bastante comum no Nordeste do Brasil e está baseada na criação de animais aquáticos em condições controladas. Segundo Molle e Cadier (1992) esta prática é atrativa nesta região por diversos fatores, dentre eles:

- baixos investimentos iniciais quando na existência de reservatórios;
- condições excelentes de luz e temperatura ambiente;
- não interfere nos demais usos da água, visto que, sua demanda, em geral, é pouco expressiva;
- pode ser praticada em áreas impróprias para a agricultura;
- não seque nenhuma fonte artificial de energia;
- importante fonte alimentar, visto que, o teor de proteína da carne de peixe de água doce é superior ao valor encontrado na carne bovina e na carne de aves.

Tabela 6.22 – Demandas mensais dos perímetros irrigados a montante do sistema

Perímetro irrigado	Meses do ano hidrológico												
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	
Poço Redondo (500ha)							Período chuvoso						
Cons. Unitário (l/s.ha)	0,584	0,644	0,714	0,634	0,586	0,570	0,370	0,000	0,188	0,342	0,388	0,460	
Vazão (m ³ /s)	0,292	0,322	0,357	0,317	0,293	0,285	0,185	0,000	0,094	0,171	0,194	0,230	
Volume (hm ³)	0,757	0,835	0,925	0,822	0,759	0,739	0,479	0,000	0,244	0,443	0,503	0,596	
Bruscas (500 ha)													
Cons. Unitário (l/s.ha)	0,786	0,754	0,816	0,53	0,236	0,42	0,000	0,000	0,244	0,314	0,258	0,572	
Vazão (m ³ /s)	0,393	0,377	0,408	0,265	0,118	0,210	0,000	0,000	0,122	0,157	0,129	0,286	
Volume (hm ³)	1,019	0,977	1,058	0,687	0,306	0,544	0,000	0,000	0,316	0,407	0,334	0,741	
Gravatá (934ha)													
Cons. Unitário (l/s.ha)	1,470	1,408	0,924	0,990	0,440	0,782	0,000	0,000	0,454	0,588	0,480	1,068	
Vazão (m ³ /s)	0,735	0,704	0,462	0,495	0,220	0,391	0,000	0,000	0,227	0,294	0,240	0,534	
Volume (hm ³)	1,905	1,825	1,198	1,283	0,570	1,013	0,000	0,000	0,588	0,762	0,622	1,384	
Irrigação o ao longo do Rio Piancó (vazões em m³/s)													
Piancó II (1000ha)*	1,000	0,749	0,897	0,00	0,00	0,346	0,000	0,000	0,344	0,000	0,000	0,607	
Piancó III (1000 ha)	0,787	0,754	0,815	0,530	0,237	0,419	0,000	0,000	0,243	0,314	0,257	0,572	
P. Brotas (500 ha)	0,393	0,377	0,408	0,265	0,119	0,210	0,000	0,000	0,122	0,157	0,129	0,286	
(*) Perímetro irrigado Piancó II – somente culturas temporárias													

Dos reservatórios envolvidos no estudo, apenas o açude Cachoeira dos Alves tem um projeto de piscicultura em andamento no município de Itaporanga. Esse projeto é atualmente coordenado pela EMPASA e tem as seguintes características técnicas:

- área total do projeto: 25,6 ha;
- número de viveiros: 30;
- capacidade de produção: 5 milhões de alevinos por ano;
- espécies de peixe: Carpa, Tilápia, Tambaqui e Curimatá;
- fonte de abastecimento: açude Cachoeira dos Alves;
- consumo médio anual de água: 1 milhão de metros cúbicos;
- área de atuação: todo o estado da Paraíba.

Neste estudo serão estendidas as práticas da piscicultura para todos os reservatórios do sistema, como sendo desenvolvida a nível extensivo, nos quais são promovidas modificações mínimas no ambiente aquático. Entretanto, somente serão avaliados os retornos financeiros

advindos da irrigação a jusante do sistema: Piancó II, III e Brotas, através do uso do modelo ORNAP (Curi e Curi, 1999).

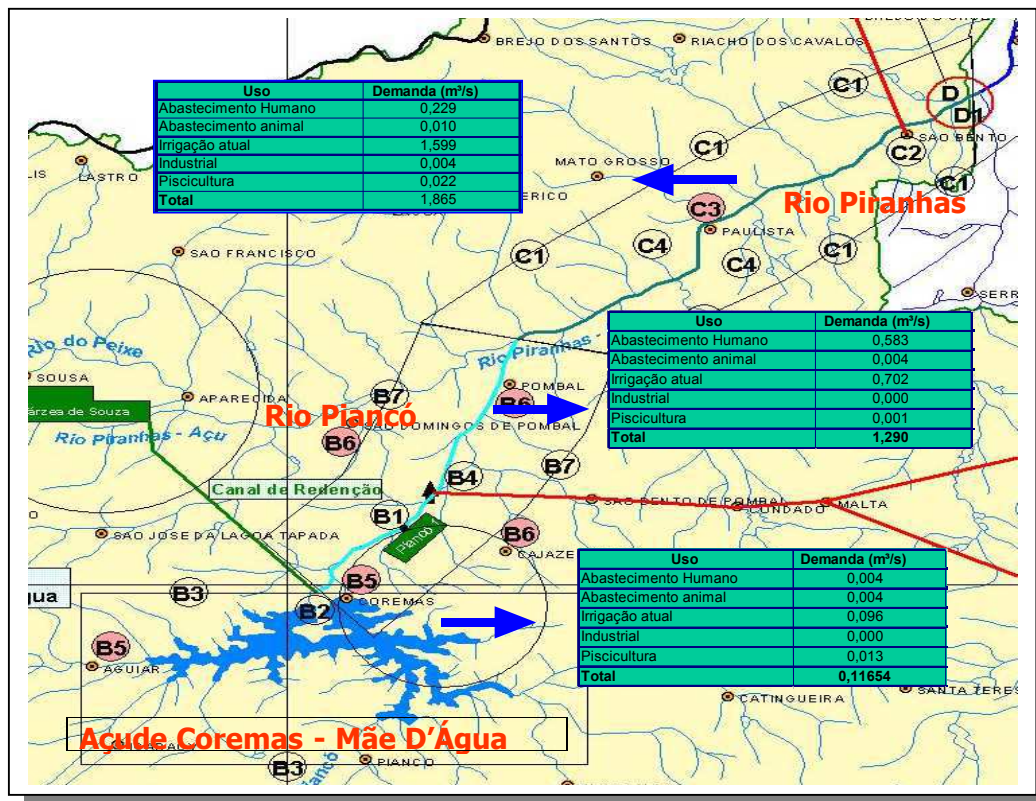
6.6.1.2 – DEMANDAS DE JUSANTE

As avaliações das demandas de jusante tiveram como base o documento fruto de um acordo realizado entre Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH, a Agência de Águas Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba – AAGISA e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS-PB, com apoio da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Paraíba – EMATER-PB e do Projeto COOPERAR. O propósito daquele trabalho era implantar, o Plano de Regularização e Ordenamento dos Usos do Sistema Curema-Açu através de um Marco Regulatório e um Plano de Alocação de Água Negociada. O estabelecimento deste Plano tem como objetivos principais:

- i) Promoção da gestão integrada na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu; e
- ii) Possibilitar a harmonização de:
 - Critérios, normas e procedimentos relativos ao cadastro, outorga e fiscalização de usos de recursos hídricos; e
 - Mobilização e articulação de usuários para o processo de gestão participativa.

A atividade cadastral é parte integrante do Plano de Ordenamento e Regularização dos Usos do Sistema Curema-Açu, Etapa Regulatória, cujas atividades se iniciaram em Junho de 2003. No estado da Paraíba, a atividade cadastral ficou sob a responsabilidade do Governo do Estado, através da Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais (SEMARH) e Agência de Águas, Irrigação e Saneamento (AAGISA). As atividades desenvolvidas para a realização do cadastro foram resumidas em três etapas: *levantamento dos dados “in loco”, informatização e o pós-cadastro*, que consistiu no cálculo das demandas e elaboração de mapas. A Figura 6.22 mostra o mapa do rio no estado da Paraíba e os quadros com as demandas para tipo de usos dos trechos levantados e, na Tabela 6.23 estão resumidos os valores totais das demandas para os diversos usos referentes a parte da bacia em território paraibano.

Figura 6.22 – Distribuição das demandas por uso e por trecho



Fonte: SEMARH, 2004, p. 27

Tabela 6.23 - Demanda por tipo de uso da água em território paraibano para 2003.

Consumo	Tipos de uso					Total
	Abastecimento humano	Dessedentação animal	Irrigação	Indústria	Piscicultura	
Vazão (m³/s)	0,816	0,018	2,397	0,004	0,036	3,271
Percentual (%)	24,95	0,55	73,28	0,12	1,10	100,0

Fonte: SEMARH, 2004, p. 29

Na Tabela 6.23 pode-se observar que a grande demanda de água a jusante do sistema é o uso para irrigação, com valor de 2,4 m³/s, correspondente a 73,3% da demanda total. Essa realidade não é diferente da demanda de montante para tal uso, onde levantamento realizado pelo Plano Diretor da Bacia, constatou um valor aproximadamente 6,59 m³/s, algo em torno de 91% do total das demandas da bacia, que representaria a implantação de todos os perímetros irrigados públicos e privados da bacia. Neste estudo foram considerados apenas 4.500 ha referentes aos projetos já implantados ou em implantação, cerca de 64% da área total destinada aos perímetros públicos (7.021 ha), responsáveis pelo consumo de 55,3% da demanda total, cerca de 3,65 m³/s.

O atendimento da demanda para geração de energia será limitado pela cota mínima de operação do reservatório Coremas capaz de produzir carga suficiente para movimentar as turbinas do sistema gerador de energia, cujas características operacionais foram descritas na configuração do sistema (Figura 5.15). A cota mínima estabelecida para operação deste reservatório foi de 223 m, equivalente ao acúmulo do volume de 69,0 milhões de metros cúbicos. Nestas condições, estima-se que, para geração de 1,5 MW de potência (metade da potência total instalada), o sistema libere uma vazão em torno de 5,0 m³/s, para acionamento de apenas uma turbina.

Por ser essa demanda não consuntiva, esta não será atendida isoladamente, visto que, a vazão turbinada será lançada no leito do rio Piancó, perenizando o trecho a jusante, servindo para atendimento de outras demandas de jusante, tais como: abastecimento, indústria, irrigação e piscicultura.

As demandas consideradas nas simulações do sistema foram:

i. Demandas ligadas diretamente ao sistema:

▪ Abastecimento	0,004 m ³ /s
▪ Desendetação animal	0,004 m ³ /s
▪ Irrigação ¹	4,096 m ³ /s
▪ Piscicultura	0,013 m ³ /s
Total	4,117 m³/s

(1) – considerando o consumo de 4,0 m³/s para o projeto de irrigação das Várzeas de Sousa.

ii. Demandas de jusante do sistema:

▪ Abastecimento ²	2,316 m ³ /s
▪ Desendetação animal	0,018 m ³ /s
▪ Irrigação ³	2,897 m ³ /s
▪ Indústria	0,004 m ³ /s
▪ Piscicultura	0,036 m ³ /s
Total	5,271 m³/s

(2) – considerando uma demanda para o Rio Grande do Norte de 1,5 m³/s; e

(3) – considerando o consumo de 0,5 m³/s para o projeto de irrigação Piancó I.

6.6.2 – DEMANDAS FUTURAS

6.6.2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na segunda etapa deste trabalho (Planejamento), serão estudadas alternativas para os usos integrados do sistema Coremas-Mãe D'Água de maneira otimizada, com vistas ao atendimento de forma sustentável dos diversos usos de montante e jusante. Neste caso, foi estabelecido um horizonte de 20 anos para projeção dos principais demandas da bacia de contribuição: abastecimento humano, consumo animal, irrigação, pecuária e indústria. Para o uso para fins de piscicultura, nesta fase foi considerado sob dois aspectos: *a montante*, considerou-se a piscicultura intensiva (nos reservatórios), uso não consuntivo e, *a jusante*, considerou-se a piscicultura extensiva, em tanques isolados e, neste caso, uso consuntivo.

A seguir são descritos de forma sucinta, os procedimentos para determinação dos diversos usos na bacia, considerados no estudo.

6.6.2.2 – ABASTECIMENTO HUMANO

Na estimativa das demandas para abastecimento humano para o horizonte de 20 anos (ano 2023), foi realizada a projeção do crescimento populacional que teve como base os dados IBGE (2000). Para a projeção do crescimento populacional existem vários métodos citados na literatura, destacando-se os do crescimento populacional: aritmético, geométrico e logístico, cujos parâmetros são obtidos a partir das observações passadas. Em todos esses métodos, pressupõe que o aumento da população em função do tempo obedeça, respectivamente, a uma progressão aritmética, a uma progressão geométrica e à chamada curva logística. Além desses, pode-se citar a utilização da equação linear, parabólica, logarítmica e exponencial, e os processos empíricos ou de extrapolação gráfica.

Em estudos anteriores SCIENTEC, 1997 e ATECEL, 1994, foram utilizados os modelos aritmético e geométrico para estimativa das populações urbanas e rurais da bacia do rio Piancó, sendo este último sugerido pelos estudos da ATECEL, 1994 e o qual foi adotado neste trabalho.

O método geométrico consiste de um processo onde, a partir do conhecimento de dois dados de população P_1 e P_2 , correspondentes aos anos T_1 e T_2 , pode-se definir a razão q da progressão geométrica pela fórmula:

$$q = \sqrt[t_2 - t_1]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \quad (6.2)$$

A previsão da população P é dada por:

$$P = P_0(1 + q)^{t - t_0} \quad (6.3)$$

Onde:

P_0 = População correspondente ao tempo (t_0); e

t_0 = tempo inicial (ano).

Para a estimativa da demanda para o abastecimento foram adotados consumos "per capita" para as populações urbanas da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), abaixo referenciados:

- até 10.000 habitantes 100 l/hab/dia
- de 10.000 até 100.000 habitantes 120 l/hab/dia
- de 100.000 até 300.000 habitantes 150 l/hab/dia
- de 300.000 até 500.000 habitantes 200 l/hab/dia
- acima de 500.000 habitantes 250 l/hab/dia

Para o consumo da população rural foi adotado o valor unitário de 100 l/hab/dia, sugerido pelo PLIRHINE para todo o Nordeste. Os valores obtidos para as demandas urbana e rural estão na Tabela 6.24.

6.6.2.3 – IRRIGAÇÃO

Para a determinação da demanda de água para a irrigação no horizonte estabelecido neste estudo, foram considerados como sendo implantados todos os perímetros irrigados públicos e privados previstos para a bacia, cuja área total estimada foi de 8.400 ha, após consultas ao PDRH/PB (SCIENTEC, 1997), órgãos envolvidos e a cooperativa de irrigantes da Região.

O consumo unitário de água foi obtido dos estudos sobre as demandas hídricas dos perímetros Piancó II, III e Brotas, onde o consumo deficitário médio, para os 7 (sete) meses observados nas simulações, através do modelo MODSIM P32, foi da ordem de 0,526 l/s.ha. Adotando-se este valor e, considerando uma área de 6.457 ha, descontados os projetos Bruscas, Poço Redondo e Gravatá, que estão ligados diretamente a reservatórios, o volume deficitário será de 61,624 milhões de m³/ano. Neste estudo foram consideradas as áreas dos perímetros Piancó II, III e Brotas (ao longo do rio Piancó) e os perímetros Gravatá, Poço Redondo e Canoas (ligados diretamente a reservatórios), totalizando uma área de aproximadamente 4.500 ha.

6.6.2.4 – DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

Na avaliação da demanda de água para dessedentação animal foi utilizado o coeficiente indicado pelo PLIRHINE, onde cita um consumo médio constante de 50 l/cab/dia, por cada unidade BEDA (ATECEL, 1994). A demanda foi estimada através da expressão:

$$\mathbf{DPEC = CD \times BEDA} \quad (6.4)$$

Onde,

DPEC - Demanda para abastecimento

CD - Coeficiente de demanda; e

BEDA - Bovinos equivalentes para demanda de água

A unidade BEDA (bovino-equivalente para demanda de água) foi obtida da seguinte equação:

$$BEDA = BOV + EQUI + \frac{1}{5}(OV / CAP) + \frac{1}{4}(SUI) \quad (6.5)$$

Onde,

BOV - bovinos e bufalinos;

OV/CAP - ovinos e/ou caprinos;

EQUI - equídeos (equínos + asininos + muares); e

SUI - suínos.

6.6.2.5 – INDÚSTRIA

Para a determinação da demanda de água para a indústria, foram consultados os dados mais recentes disponíveis, que são de 1992. Considerando os vários tipos de indústria existentes na bacia foram adotados os coeficientes de demanda estabelecidas no PDRH/PB (SCIENTEC, 1997b, p.231). A partir dessas informações, com o coeficiente de demanda correspondente e, considerando 300 dias no ano, foram calculadas as demandas atuais, para o ano 2000 pela seguinte equação:

$$\text{DAI} = \text{PO} \times \text{CD}$$

(6.6)

Onde ,

DAI - Demanda de água para a indústria;

PO - Número de pessoal ocupado; e

CD - Coeficiente de demanda de água relacionado com o tipo de indústria

O resumo das demandas hídricas de montante da bacia do sistema Coremas-Mãe D'Água para o horizonte de ano 2.023, em termos de volume, vazão média e os respectivos percentuais de consumo para os diversos usos da água, estão mostrados na Tabela 6.24.

Tabela 6.24 - Demandas hídricas para o horizonte de planejamento (ano 2023)

Consumo	Abastecimento humano			Dessedentação animal	Irrigação	Indústria	Total
	Urbano	Rural	Total				
Volume (10 ⁶ m ³ /ano)	11,837	6,197	18,034	3,573	61,624	0,506	83,737
Vazão média (m ³ /s)	0,375	0,197	0,572	0,113	3,396	0,016	4,097
Percentual (%)	14,1	7,4	21,5	4,3	73,6	0,6	100,0

CAPÍTULO VII

ETAPAS, CENÁRIOS E SITUAÇÕES ESTUDADAS

7.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para estruturação e análise do comportamento hídrico dos elementos que compõe a bacia hidrográfica do rio Piancó, visando a obtenção dos objetivos a que se propõe esta pesquisa, foram idealizados cenários e situações definidas em duas etapas do estudo: *Etapa de Diagnóstico*, voltada para o conhecimento hídrico do comportamento do sistema ao longo do tempo, com o uso de técnica de simulação contínua e, *Etapa de Planejamento*, onde o objetivo era a análise e sugestão de políticas operacionais do uso das disponibilidades hídricas do sistema, com o uso de técnica de otimização a nível mensal para um horizonte de dois anos. Para as duas etapas, cenários e situações no plano temporal e espacial foram definidos e serão a seguir comentadas.

7.2 – ETAPA DE DIAGNÓSTICO

Nesta etapa do trabalho, o objetivo foi o conhecimento do comportamento hídrico do sistema global e de cada elemento que o compõe: reservatórios, sub-sistema e tributários, visando:

- Conhecer e quantificar o superávit ou déficit hídrico interno do sistema;
- Avaliar a importância e os percentuais de contribuição dos sub-sistemas e tributários ao sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água;
- Avaliar os impactos causados pelas alterações de ordem físicas, hídricas e operacionais para os cenários idealizados, advindas da implantação e ampliação dos perímetros irrigados, conclusões dos reservatórios e volumes metas dos reservatórios;
- Obter o nível de comprometimento do sistema em relação às demandas de jusante;
e
- Avaliar as disponibilidades hídricas do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água em função da sua concepção física, hídrica e operacional estudada.

Para obtenção dessas respostas hídricas foram realizadas simulações contínuas considerando o *cenário atual* e quando submetido às alterações idealizadas no plano: físico, hídrico e operacional do sistema, denominadas de *cenários possíveis*. O organograma da Figura 7.23, mostra as situações analisadas para ambos os cenários nesta etapa, cujas particularidades são descritas a seguir.

7.2.1 – CENÁRIO ATUAL

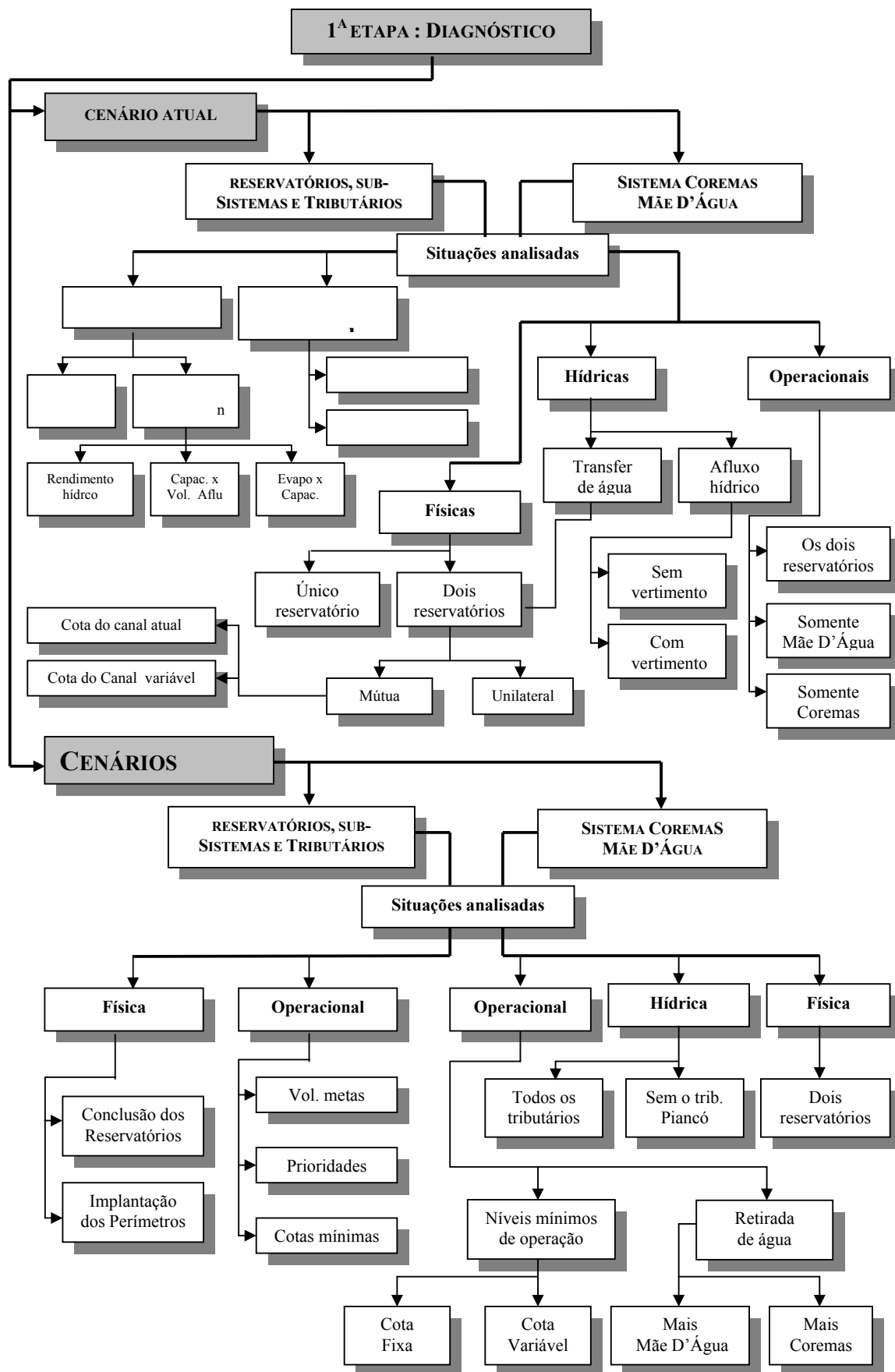
Neste cenário o objetivo é obter o nível de comprometimento hídrico dos elementos hídricos que compõem o sistema global estudado: reservatórios, sub-sistemas e tributários, como também do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água para a situação hídrica existente. Neste cenário foram considerados os reservatórios não concluídos em suas capacidades atuais e os perímetros com suas áreas atualmente implantadas.

7.2.1.1 - RESERVATÓRIOS, SUB-SISTEMAS E TRIBUTÁRIOS

Para o conhecimento do comportamento hídrico do sistema global foi de fundamental importância a análise individual dos elementos componentes desse sistema, ou seja, dos reservatórios, dos sub-sistemas e dos tributários. Foram realizadas simulações contínuas para a série pseudo-histórica de 53 anos de vazão afluente aos 24 reservatórios de montante, utilizando o modelo MODSIM P32. Não foram consideradas demandas para irrigação, visto que, o objetivo desse é de se obter as vazões máximas de contribuição de cada tributário do sistema, com somente as demandas de abastecimento, para uma avaliação posterior do potencial do tributário Piancó para atendimento dos perímetros irrigados. O volume inicial considerado para os reservatórios foi de 50% das suas capacidades máximas. Não foram consideradas perdas no trajeto de água dos reservatórios ao sistema Coremas-Mãe D'Água, visto que, foi imposto um custo alto na água liberado pelos reservatórios para outros fins que não fosse o abastecimento. Neste caso, somente as águas provenientes dos vertimentos seriam efluentes dos reservatórios durante o período chuvoso, no qual, as perdas por infiltração podem ser consideradas desprezíveis, em razão do estado de umidade do solo promovido pelas chuvas que caíram diretamente sobre o mesmo.

Para os volumes mínimos dos reservatórios foi estabelecido que, aqueles que tiverem abastecimento de localidades, terão como percentual de volume mínimo no valor igual a 25% de suas capacidades máximas e aqueles não comprometidos com o abastecimento, esse valor foi de 5%. Para esses reservatórios foram ainda determinados os seguintes índices hídricos:

Figura 7.23 – Cenários e situações idealizadas para etapa de Diagnóstico



- Capacidade de acumulação versus volume médio afluente anual (índice I_1), relacionado com a suficiência ou insuficiência da capacidade de acumulação dos reservatórios;
- Volume evaporado versus capacidade de acumulação (índice I_2), que estabelece a eficiência do reservatório em acumular água; e
- Vazão máxima regularizável versus capacidade de acumulação (índice I_3), conhecido como rendimento hídrico, que indica a eficiência hídrica do reservatório.

Estes índices são indicativos da eficiência hídrica dos reservatórios no que tange as suas capacidades de acumulação de água e de suas vazões regularizáveis e serviram para se ter uma idéia do comportamento hídrico dos reservatórios de montante em relação ao sistema global. O índice associado aos vertimentos dos reservatórios não foi considerado, visto que, na análise integrada do sistema os mesmos não se constituem como perdas, pois, contribuirão para as disponibilidades do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água e sua importância será avaliada quando na análise do comportamento hídrico do referido sistema, comentado adiante.

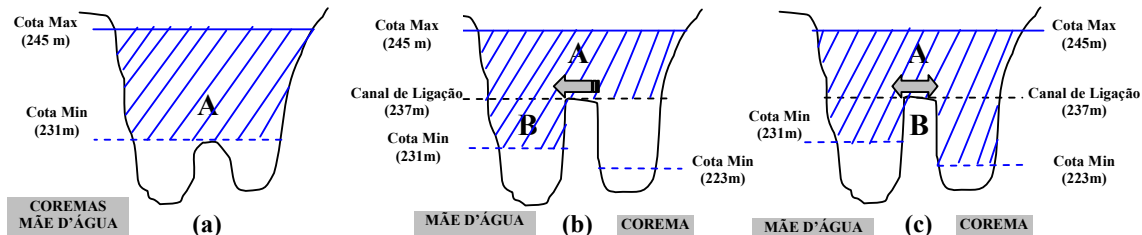
Com relação aos tributários, estes constituídos por quatro, foram analisadas suas vazões de contribuição ao sistema Coremas-Mãe D'Água, tendo como destaque o tributário Piancó, cuja análise foi realizada por sub-sistemas. A justificativa é que esse tributário é alvo de estudo devido a sua área de contribuição conter a maior concentração de reservatórios e maiores demandas de uso de água da bacia: seis perímetros irrigados, totalizando 4.500 ha e nove municípios abastecidos.

As vazões de contribuições entre os sub-sistemas, sub-sistema/tributário e estes ao sistema Coremas-Mãe D'Água foram analisadas após satisfazerem as demandas hídricas de abastecimento urbano, consideradas prioritárias, das cidades beneficiadas pelos respectivos reservatórios que os compõem.

7.2.1.2 – SISTEMA DE RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Para avaliação do comportamento do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água nesta fase do estudo, foram realizadas simulações contínuas, para as situações representadas na Figura 7.24, utilizando-se os modelos MODSIM P32 e SimCOMA, descritos nas Seções 5.1.3 e 5.4.4, respectivamente.

Figura 7.24 – Concepções hídricas idealizadas para a análise do comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água



Legendas:

- (a) único reservatório: A - Zona Hidrológica Superior (ZHS).
- (b) dois reservatórios:
 - (transferência unilateral) { A - Zona Hidrológica Superior (ZHS).
 - { B - Zona Hidrológica Inferior (ZHI) – Mãe D'Água.
- (c) dois reservatórios:
 - (transferência mútua) { A - Zona Hidrológica Superior (ZHS).
 - { B - Zona Hidrológica Inferior (ZHI) – Coremas e Mãe D'Água.

A título de investigação foram realizadas simulações para análise das disponibilidades hídricas desse sistema em função das concepções de ordem física e hídrica, descritas abaixo:

- **De ordem física.** Duas situações foram estudadas:
 - i. o sistema como um único reservatório. Neste caso, o sistema foi considerado como um único reservatório interligado na cota mínima de operação (231m), representado por uma única curva *cota x área x volume* resultante da soma das duas curvas dos respectivos reservatórios (Figura 7.24a); e
 - ii. o sistema como dois reservatórios. Neste caso, considerou-se o sistema como único reservatório na parte acima da cota do canal de ligação (237m) e abaixo desta, comportamento individualizado em função de suas curvas e das cotas mínimas de operação estabelecidas (Figura 7.24b).
- **De ordem hídrica.** Duas situações foram estudadas, com relação a transferência de água entre os reservatórios:
 - a. transferência unilateral. Neste caso, somente o reservatório Coremas transfere água para o reservatório Mãe D'Água. Situação inicialmente aceitável, visto que o aporte a este reservatório é aproximadamente 4,5 maior do que o aporte de Mãe D'Água e, sua capacidade é superior em 12,7% (Figura 7.24b) ;

- b. transferência mútua. Neste caso, admitiu-se que o reservatório Mãe D'Água também fornece água para o reservatório Coremas (Figura 7.24c).

Essas situações acima idealizadas se justificam pela limitação física existente entre os dois reservatórios, devido ao canal de ligação entre os mesmos, situado a 8 (oito) metros abaixo da capacidade máxima, na cota 237 m. A partir dessa cota, haveria separação dos reservatórios e o comportamento hídrico passaria a ser individualizado por reservatório.

Normalmente, na avaliação das disponibilidades hídricas desse sistema, consideram-se os dois reservatórios interligados, com sendo *vasos comunicantes* na sua plenitude e não somente até a cota do canal de ligação e, neste caso, os volumes e as áreas em cada cota são considerados como a soma destes valores dos respectivos reservatórios. Essa não é a forma mais correta de representação para essas avaliações, visto que, na cota de separação dos reservatórios, 273 m, esses passam a operar individualmente sem a ajuda do outro e, nesta situação, as demandas serão também individualizadas.

Nas simulações, duas situações no tocante a afluência hídrica ao sistema foram também consideradas: com e sem vertimentos dos reservatórios de montante. O objetivo desse estudo é avaliar os percentuais de contribuição deste segmento para o sistema Coremas-Mãe D'Água, importante na avaliação de um plano de operação dos reservatórios para minimização dos volumes vertidos (maximização de suas disponibilidades). Foram consideradas ainda duas situações no plano operacional do sistema: com retiradas de água dos dois reservatórios simultaneamente e, somente do reservatório Mãe D'Água. Para as simulações nas situações (i), casos (a) e (b) foi utilizado o modelo MODSIM P32 e nas situações (ii), caso (c) foi utilizado o modelo SimCOMA, desenvolvido especialmente para representar a transferência mútua de água entre os reservatórios, conforme descrito na Seção 5.4.4.

7.2.2 – CENÁRIOS IDEALIZADOS

Nestes cenários o objetivo era obter interferências sobre as disponibilidades do sistema Coremas-Mãe D'Água quando realizadas alterações de ordem física, hídrica e operacional do sistema de montante, advindas da implantação e ampliação dos perímetros irrigados, conclusões de reservatórios de montante e volumes metas estabelecidas.

7.2.2.1 - RESERVATÓRIOS, SUB-SISTEMAS E TRIBUTÁRIOS

Para a avaliação do comportamento dos reservatórios de montante, foram idealizados cenários com duas alterações na estrutura hídrica do cenário atual (existente):

- **De ordem física.** Representada pelas alterações provenientes das conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas (para suas capacidades de projeto) e também da implantação de todos os perímetros irrigados, com suas respectivas áreas máximas. No primeiro momento foram considerados os perímetros diretamente ligados aos reservatórios e, num segundo momento, os perímetros com captações ao longo do rio Piancó (projetos: Piancó II, III e Brotas); e
- **De ordem operacional.** Representada pelas priorizações de atendimento dos diversos usos das águas dos reservatórios, cotas mínimas de operação e volumes metas estabelecidos para os reservatórios

7.2.2.2 – SISTEMA DE RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Na análise e avaliação do comportamento hídrico do referido sistema, nesta etapa do estudo, foram analisadas as respostas do mesmo quando submetido a modificações na sua estrutura hídrica de natureza física, hídrica e operacional. Foram idealizadas as seguintes alterações:

- **No padrão de afluência.** Neste caso, foram realizadas simulações considerando a afluência de todos os tributários e, também, sem considerar o tributário Piancó. O objetivo da exclusão deste tributário seria a avaliação da importância deste sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, visto que, neste tributário, estão previstas as alterações de ordem física, anteriormente descritas, que afetarão na contribuição hídrica do sistema como um todo;
- **Nas cotas mínimas de operação.** Neste caso, foram consideradas cotas fixas de operação para os dois reservatórios e também independentes para cada reservatório. Essas cotas mínimas foram estabelecidas como àquelas abaixo das quais haveria colapso no suprimento das demandas. Para o reservatório Mãe D'Água foi considerada a cota do *Canal da Redenção* (cota 231m) e, no caso do reservatório Coremas, foi estabelecida a cota mínima para geração de energia, cota 223m. No caso

de uma única cota, foi adotada a cota 231m, visto que esta atenderia ambos os casos, priorizando as demandas do referido canal; e

- **Na operação dos reservatórios.** Neste caso, foi analisado o comportamento do sistema quando se priorizou a retirada de água de um ou outro reservatório, visto que estes podem ser operados individualmente através de tomadas d'água independentes, conforme esquema apresentado na Figura 5.15.

Para as simulações realizadas para as situações acima descritas, foram utilizados os modelos: ORNAP (para avaliação das demandas de irrigação dos perímetros), MODSIM (para avaliação da contribuição hídrica dos reservatórios de montante) e SimCOMA (para simulação integrada dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água para transferência mútua entre os reservatórios, através do *conceito de vasos comunicantes*).

Nesta etapa, para a análise do desempenho do sistema, foram considerados os índices de: *confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência*, definidos como (MAUAD, 2003):

1. Confiabilidade. Percentagem do tempo em que as demandas necessárias foram atendidas pelo sistema. Definido como a relação entre o número de valores simulados na zona satisfatória e o número de períodos simulados.

$$C\% = (N_s / N) * 100 \quad (7.1)$$

Onde ,

N_s – Número de sucesso; e

N - Período de simulação

2. Vulnerabilidade. Mede a severidade das falhas a que o sistema está sujeito. Definida como a relação entre o somatório dos déficits hídricos e o número de falhas.

$$V\% = [(1 / N_f) * \sum \% \text{déficit hídrico}] * 100 \quad (7.2)$$

Onde , N_f é o número de eventos de falhas

3. Resiliência (ou elasticidade). Descreve como o sistema se recupera ao retornar de uma falha, uma vez que esta tenha acontecido.

$$R\% = [1 - (L_{\text{máx}}/N_f)] * 100 \quad (7.3)$$

Onde ,

L_{máx} – Duração máxima de permanência no estado de falha (mês); e

N_f - o número de eventos de falhas (mês)

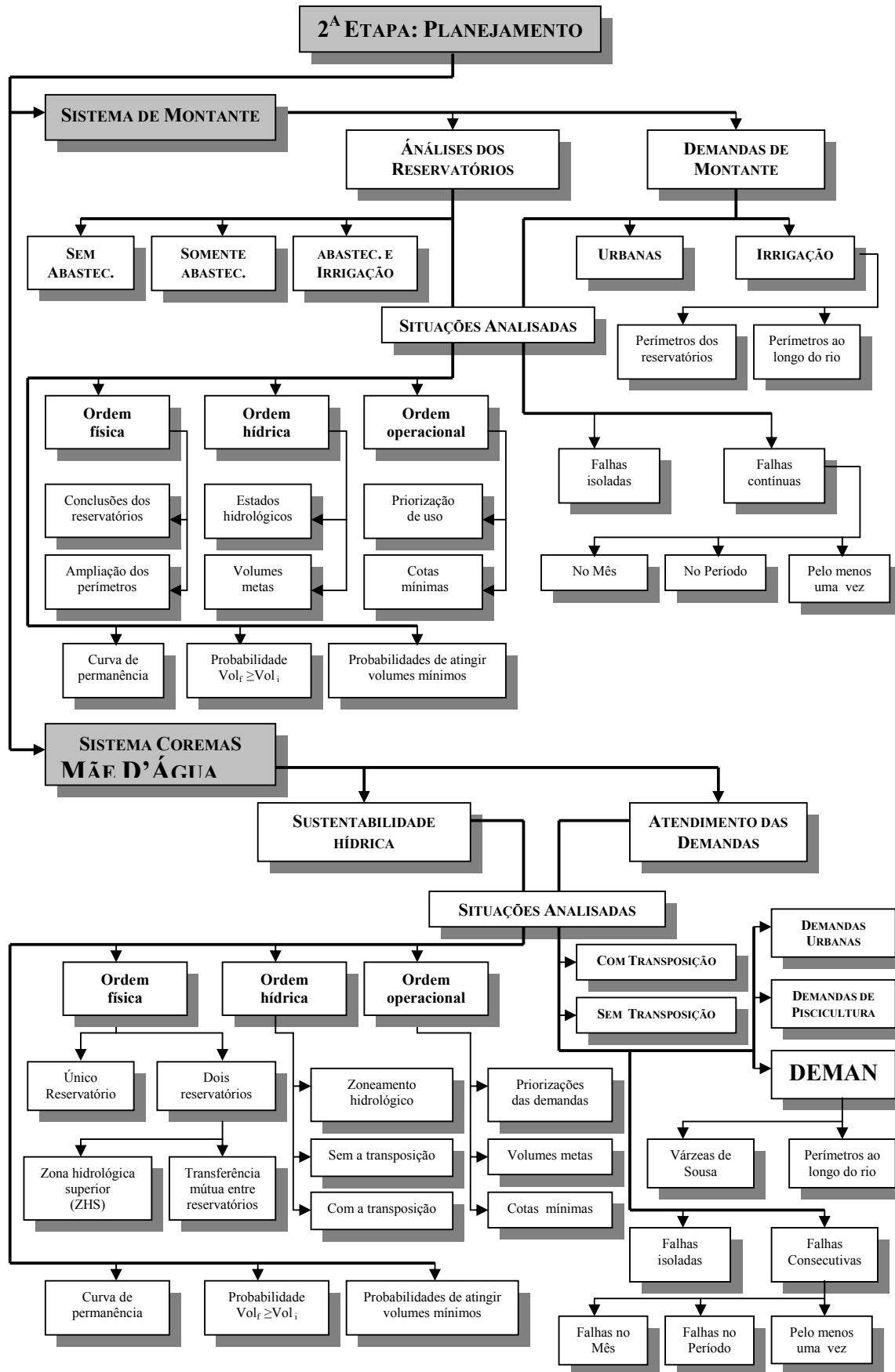
7.3 – ETAPA DE PLANEJAMENTO

A segunda etapa deste trabalho está relacionada com o planejamento para os usos das disponibilidades do sistema. A partir do conhecimento do comportamento do sistema para a situação atual e situações possíveis de intervenções, descritas na Seção 7.2, foi realizada uma análise e proposta sugestões de diretrizes para o planejamento de operação do sistema de forma a conciliar ou minimizar os conflito para atendimento das demandas de montante e jusante. Para tanto, foram também pré-estabelecidos cenários e situações nos planos físicos, hídricos e operacionais dos reservatórios, tais como: zoneamento múltiplo (denominados de estados hidrológicos), priorização de atendimento das demandas e volumes metas (Figura 7.25). A política de zoneamento múltiplo consistiu em se definir em três zonas de armazenamento dos reservatórios, definida como estados hidrológicos e, para cada uma delas, foi associado um critério de liberação de água, através da adoção de prioridades de atendimento, em função dos volumes metas estabelecidos para os reservatórios.

Os zoneamentos dos reservatórios de montante do sistema Coremas-Mãe D'Água foram definidas para três classes de reservatórios, em função da sua utilização: reservatórios sem abastecimento, reservatórios com somente abastecimento e reservatórios com abastecimento e irrigação (ligada diretamente a estes). As demandas consideradas para abastecimento dos municípios foram determinadas para o horizonte de 20 anos (ano 2023) e para a irrigação, aquelas referentes a toda área dos perímetros considerados no estudo. As demandas de jusante foram consideradas àquelas levantadas pelo cadastro, conforme descrito na Seção 6.6.2. O horizonte de simulação proposto pelo estudo foi de dois anos.

Para essa etapa de análise do sistema foi utilizado o modelo MODSIM32, na opção de simulação *Planejamento Tático* e para opção de cálculos, *Estados Hidrológicos*. Os estados hidrológicos (zoneamento) por classe de uso dos reservatórios, as prioridades de atendimento das demandas e os volumes metas serão descritos a seguir, para os reservatórios de montante e para os reservatórios Coremas-Mãe D'Água.

Figura 7.25 – Cenários e situações idealizadas para etapa de Planeamento



7.3.1 – OS RESERVATÓRIOS DE MONTANTE

Conforme descrito na Seção 5.2 do Capítulo V, o sistema é formado por 24 reservatórios distribuídos em três grandes tributários: Aguiar, Emas e Piancó, sendo este último o mais importante, composto por 15 reservatórios.

Para o estudo da política de operação dos recursos hídricos do sistema foram consideradas as operações dos reservatórios do tributário Piancó, visto que, neste tributário, serão efetuadas as modificações do sistema, tais como: conclusões de reservatórios e implantação dos perímetros irrigados, estimados em 4.500 ha, referentes aos perímetros de Gravatá, Poço Redondo, Bruscas e Piancó (II, III e Brotas). Os outros reservatórios pertencentes aos tributários Aguiar e Emas, não foram operados e as contribuições hídricas desses tributários ao sistema foram advindas das áreas não controladas pelos reservatórios e por vertimento destes.

Para todos os reservatórios foi considerado o volume inicial de 60% da capacidade máxima, comumente observado no mês de início da simulação (mês de agosto), conforme a série de volumes observados fornecidos pela SEMARH/ LMRS.

7.3.1.1 - OS GRUPOS DE RESERVATÓRIOS POR TIPO DE USO DA ÁGUA

Para as simulações dos 15 reservatórios foram considerados os zoneamentos hidrológicos, em função da classe de uso desses mananciais, para os volumes iniciais de 60% das suas respectivas capacidades. Os reservatórios envolvidos, segundo o grupo de uso da água, foram:

- **Grupo 01**, formado por 5 reservatórios sem abastecimento urbano: Vídeu, Vazante, Condado, Santa Inês e Tavares;
- **Grupo 02**, formado por 6 reservatórios com somente abastecimento urbano: Cachoeira dos Alves, Piranhas, Serra Vermelha I, Catolé, Jatobá II e Queimadas; e
- **Grupo 03**, formado por 4 reservatórios com abastecimento urbano e irrigação: Bruscas, Saco de Nova Olinda, Canoas e Poço Redondo.

Nesta etapa foram consideradas as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas para as capacidades propostas neste estudo, conforme apresentadas na Tabela 6.16.

Para as simulações dos reservatórios foi utilizado o modelo MODSIM P32, para o horizonte de planejamento de dois anos, visando as respostas hídricas do mesmo, no tocante aos seguintes indicadores:

- a) Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios. Relacionam os volumes mensais nos reservatórios com as probabilidades de serem maiores ou iguais;
- b) Probabilidades dos volumes finais dos reservatórios serem superiores ou iguais aos volumes iniciais. Neste caso, relacionou-se para cada reservatório, as chances dos reservatórios estarem, no final de julho do ano 1 e 2 do horizonte de planejamento, com seus volumes finais iguais ou maiores que seus volumes iniciais. Neste estudo, considerado 60% das suas capacidades; e
- c) Probabilidade de atingirem seus volumes mínimos. Para cada reservatório foram estimadas as chances destes atingirem os níveis mínimos estabelecidos, ou seja, a zona hidrológica seca, representadas nas Figuras 7.26, 7.27 e 7.28 de zoneamento hídrico.

7.3.1.2 - RESERVATÓRIOS SEM ABASTECIMENTO

Estes reservatórios, por não terem demandas de abastecimento ligadas a eles, foram operados de forma a dar reforço ao suprimento de água para as demandas de irrigação ao longo do leito do rio Piancó: perímetros Piancó II, III e Brotas. A idéia é tentar suprir uma possível deficiência hídrica para o atendimento das demandas de irrigação com a operação desses reservatórios. Esta opção não foi considerada na primeira etapa deste estudo.

Na Figura 7.26 estão mostrados os estados hidrológicos estabelecidos para tais reservatórios, com as respectivas prioridades dos volumes metas e, na Tabela 7.25, estão listados os reservatórios que foram operados e seus respectivos volumes por estado hidrológico.

Figura 7.26 - Estados Hidrológicos para os reservatórios sem abastecimento

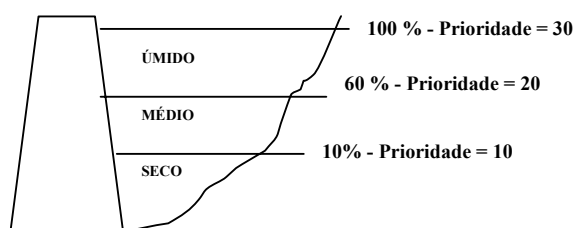


Tabela 7.25 - Volumes nos reservatórios sem abastecimento (hm³)

Estado Hidrológico	Reservatórios				
	Vídeo	Vazante	Condado	Santa Inês	Tavares
ÚMIDO	6,04	9,09	35,01	26,11	6,47
Médio	3,62	5,45	21,01	15,67	3,88
Seco	0,60	0,91	3,50	2,61	0,67

Para a operação desses reservatórios foram atribuídas, para suprimento das demandas de irrigação, as seguintes prioridades:

- Zona Úmida Prioridade: 1
- Zona Média Prioridade: 10
- Zona Seca Prioridade: 90

Para essas atribuições de prioridades, nas zonas úmida e média, os reservatórios atenderiam as demandas de irrigação, somente restringindo o fornecimento de água, na *zona seca*, ou seja, quando os volumes nos reservatórios forem inferiores ou iguais a 10% de suas capacidades, estabelecidos como *volumes metas* para esta classe de uso.

7.3.1.3 - RESERVATÓRIOS COM SOMENTE ABASTECIMENTO

Os reservatórios cujas finalidades são somente o abastecimento de cidades foram operados com prioridade total para este uso, não participando portanto, do suprimento de outras demandas, a não ser através dos volumes vertidos.

Na Figura 7.27 estão mostrados os estados hidrológicos estabelecidos para tais reservatórios, com as respectivas prioridades dos volumes metas e, na Tabela 7.26, estão listados os reservatórios e seus respectivos volumes por estado hidrológico.

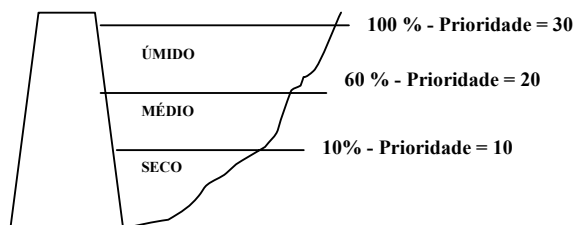
Figura 7.27 - Estados Hidrológicos para os reservatórios com somente abastecimento

Tabela 7.26 - Volumes nos reservatórios com somente abastecimento (hm³)

Estado Hidrológico	Reservatórios					
	Piranhas	Serra Vermelha	Catolé	Jatobá II	Queimadas	Cachoeira dos Alves
ÚMIDO	25,69	11,80	10,50	6,49	15,62	10,61
Médio	15,41	7,08	6,30	3,89	9,37	6,37
Seco	6,42	2,95	2,62	1,62	2,34	2,65

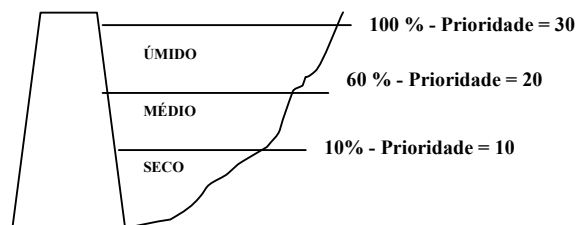
Para a operação desses reservatórios foi atribuída a prioridade igual a 1 para o abastecimento em todas as zonas de armazenamento (estados hidrológicos). Para essa atribuição de prioridades, o reservatório será operado para atender as demandas de abastecimento em todos os estados hidrológicos. No caso do reservatório atingir o volume inferior ao *volume meta*, estabelecida em 25% da sua capacidade, sugere-se a redução da demanda hídrica em 50% do valor para operação do reservatório no estado hidrológico seco. A finalidade desse procedimento é garantir que o reservatório não entre em colapso hídrico durante os períodos hidrológicos críticos da região. Este caso foi observado nos reservatórios de Catolé e Jatobá II, cujas capacidades são inferiores em relação aos outros reservatórios comprometidos com abastecimento e as cidades que estes abastecem requerem demandas relativamente altas.

7.3.1.4 - RESERVATÓRIOS COM ABASTECIMENTO E IRRIGAÇÃO

Neste caso estão inseridos quatro reservatórios: Canoas e Saco de Nova Olinda (perímetro Gravatá – 934 ha), Bruscas (perímetro Bruscas – 500 ha) e Poço Redondo (perímetro Poço Redondo – 500 ha). Foram priorizadas as demandas para o abastecimento em todas os estados hidrológicos e as demandas para a irrigação, somente em alguns casos, geralmente essas demandas foram atendidas nos estados: úmido e médio.

Na Figura 7.28 estão mostrados os estados hidrológicos estabelecidos para tais reservatórios, as respectivas prioridades dos volumes metas e, na Tabela 7.27, estão listados os reservatórios e seus respectivos volumes por estado hidrológico. Para a operação desses reservatórios foram atribuídas, para suprimento das demandas de abastecimento e irrigação, as seguintes prioridades:

- Zona Úmida prioridades: abastecimento 1/ irrigação 10
- Zona Média prioridade: abastecimento 1/ irrigação 20
- Zona Seca prioridade: abastecimento 1/ irrigação 50

Figura 7.28 - Estados Hidrológicos para os reservatórios com abastecimento e irrigação.**Tabela 7.27** - Volumes nos reservatórios com abastecimento e irrigação (hm³)

Estado Hidrológico	Reservatórios			
	Bruscas	Saco de Nova Olinda	Canoas	Poço Redondo
ÚMIDO	38,20	97,48	36,85	49,27
Médio	22,92	58,49	22,11	29,56
Seco	9,55	24,37	9,21	12,32

Para a operação desses reservatórios foi também atribuída a prioridade igual a 1 para o abastecimento em todas as zonas de armazenamento. Para essa atribuição de prioridades, o reservatório será operado para atender as demandas de abastecimento em todos os estados hidrológicos. No caso do reservatório atingir o volume inferior ao *volume meta* (25% da sua capacidade), seria sugerida a mesma redução nas demandas hídricas de abastecimento, para operação do reservatório no *estado hidrológico seco*.

Para suprimento das demandas de irrigação foi imposta a restrição do reservatório não fornecer água no *estado seco*, ou seja, para o volume menor ou igual a 25% da sua capacidade. As finalidades desses dois procedimentos foram: garantir a prioridade de uso para o abastecimento e preservar o reservatório de um possível colapso hídrico durante os períodos hidrológicos críticos da região.

7.3.2 – OS RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Para os reservatórios Coremas-Mãe D'Água foram realizadas duas análises do comportamento hídrico, segundo as seguintes estruturas hídricas do sistema:

1. **O sistema como um único reservatório**, considerou-se apenas a operação do sistema na parte superior dos reservatórios, ou seja, acima da cota do canal de ligação dos reservatórios (cota igual a 237m); e

2. **O sistema como dois reservatórios**, para simulação do sistema com volumes inferiores ao volume na cota de ligação (656,50 hm³).

No primeiro caso foram realizadas simulações para vários volumes iniciais dos reservatórios e, no segundo caso, os reservatórios inicialmente com seus volumes máximos, correspondentes na cota de ligação do canal, ou seja, Coremas igual a 373,0 hm³ e Mãe D'Água igual a 283,5 hm³ (Figura 7.24). Em ambos os casos, o sistema foi simulado para o horizonte de planejamento de dois anos.

Para a avaliação das respostas hídricas do sistema nas duas concepções idealizadas, foram analisados os mesmos índices descritos para o sistema de montante, apresentados na Seção 7.2.1.1 Na análise de atendimento das demandas, também foram adotados os indicadores estabelecidos para o sistema de montante, obtidos do próprio modelo MODSIM P32, conforme apresentados no organograma da Figura 7.25 e definidos a seguir:

- i. ***Falhas no mês (%)***, razão entre o total de falhas em cada mês e o número de simulações realizadas, definidas como:

$$NS = SG - HS + 1 \quad (7.4)$$

Onde,

NS- é o número de simulação;

SG – é o número de anos da série gerada (53 anos); e

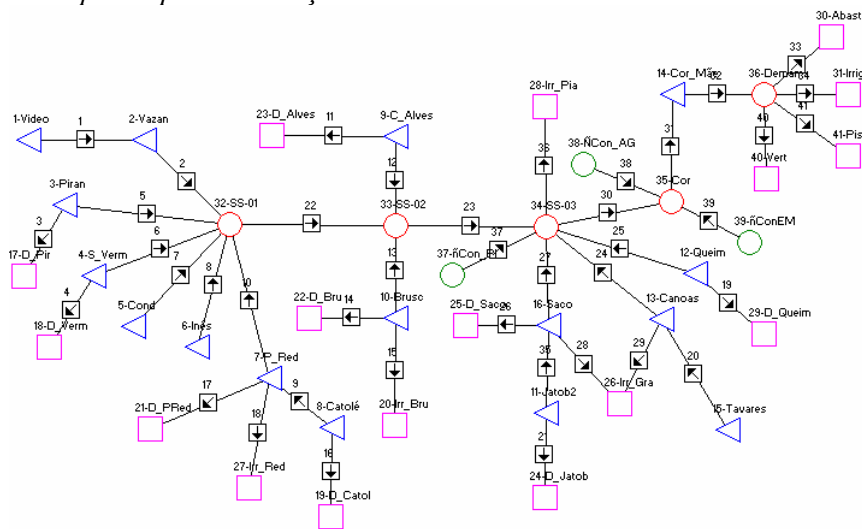
HS – é o horizonte de simulação (2 anos).

- ii. ***Falhas no período (%)***, razão entre o total acumulado de falhas e o total acumulado de meses até o mês em questão; e
- iii. ***Ao menos uma falha até o mês (%)***, fornece para o mês em questão, qual a probabilidade de que tenha ocorrido no mínimo uma falha até o mês em questão.

7.3.2.1- O SISTEMA COMO UM ÚNICO RESERVATÓRIO

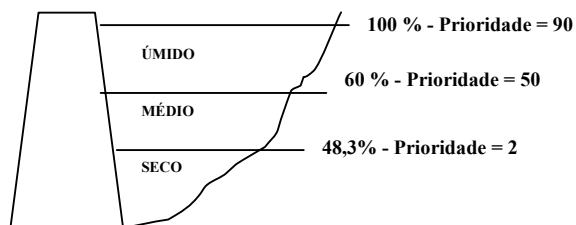
Para a primeira avaliação da resposta hídrica do sistema Coremas-Mãe D'Água no que se refere ao atendimento das demandas foi montado o esquema para simulação, conforme mostrado na Figura 7.29, considerando o sistema como um único reservatório. Ao sistema, foi imposto que este somente trabalharia na parte superior dos reservatórios, acima da cota do canal de ligação (237m). Nesta zona hidrológica, o volume útil armazenado é de 702,20 hm³, que representa 51,7% da capacidade total do sistema.

Figura 7.29 - Esquema para simulação do sistema como único reservatório no MODSIM P32



Na Figura 7.30 estão mostrados os estados hidrológicos estabelecidos para o sistema de reservatórios com as respectivas prioridades dos volumes metas e, na Tabela 7.28, os volumes por estado hidrológico considerado. As prioridades para o atendimento das demandas por estado hidrológico do sistema Coremas-Mãe D'Água foram estabelecidas conforme mostrado na Tabela 7.29, independente de estar a montante ou a jusante do mesmo.

As demandas para geração de energia e perenização do rio Piancó, por serem não consuntivas, suas prioridades foram consideradas em função das prioridades de atendimento das demandas de jusante do sistema, visto que, as liberações de água para tais finalidades, serão aproveitadas para atendimento das outras demandas: abastecimento, piscicultura e irrigação. O sistema foi simulado para diversos volumes iniciais, tendo como volume meta àquele correspondente a cota do canal de ligação, volume mínimo igual a 656,50 hm³. Foram observados os desempenhos dos reservatórios no tocante ao atendimento das demandas de montante e jusante, conforme as prioridades estabelecidas na Tabela 7.29.

Figura 7.30 - Estados Hidrológicos para o sistema Coremas-Mãe D'Água.**Tabela 7.28** - Volumes no sistema Coremas-Mãe D'Água (hm³)

Estado Hidrológico	Sistema Coremas-Mãe D'Água
ÚMIDO	1.358,70
Médio	815,22
Seco	656,50

Foram impostas as seguintes condições ao sistema, no que tange as tolerâncias de atendimento das demandas:

- *Abastecimento*, margem de falha aceita para o atendimento desta demanda seria de 2%, ou seja, nível de confiabilidade maior ou igual a 98%;
- *Piscicultura*, margem de falha aceita para o atendimento desta demanda seria de 5%, ou seja, nível de confiabilidade maior ou igual a 95%; e
- *Irrigação*, margem de falha aceita para o atendimento desta demanda seria de 10%, ou seja, nível de confiabilidade maior ou igual a 90%.

TABELA 7.29 – PRIORIDADES DE ATENDIMENTO DAS DEMANDAS POR ESTADO HIDROLÓGICO DO SISTEMA COM ÚNICO RESERVATÓRIO.

Demandas	Valores		Prioridades por estado hidrológico		
	(m³/s)	(%)	Úmido	Médio	Seco
1. Abastecimento, consumo animal e indústria	2,338	25,22	1	1	1
2. Piscicultura	0,036	0,39	1	1	5
3. Irrigação	6,897	74,39	1	1	10

7.3.2.2 - O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

Na avaliação da resposta hídrica do sistema neste caso, considerou que o sistema operaria também abaixo da cota do canal de ligação dos dois reservatórios Coremas e Mãe D'Água . Estes foram operados simultaneamente, havendo transferência de água do reservatório Coremas para Mãe D'Água, quando este atingisse a cota máxima de acumulação (237 m), correspondente ao volume de 373 hm³, conforme ilustrado na Figura 7.31. Os volumes máximos e mínimos desses reservatórios foram assim definidos:

- Reservatório Coremas:

Volume máximo 373,0 hm³ (cota 237m)

Volume mínimo (geração de energia) 69,0 hm³ (cota 223m)

- Reservatório Mãe D'Água:

Volume máximo 1.358,7 hm³ (cota 245m)

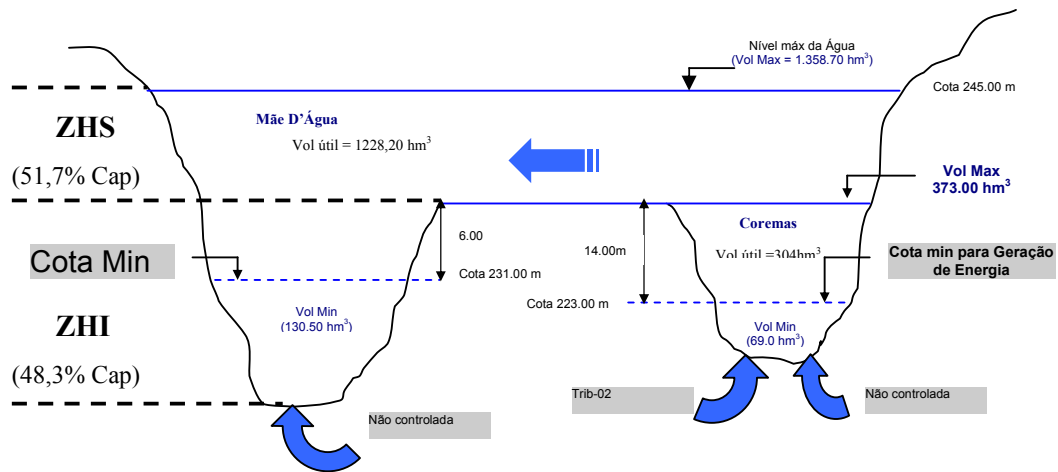
Volume mínimo (canal da Redenção) 130,5 hm³ (cota 231m)

A operação do sistema, mostrada no esquema de simulação representado na Figura 7.31, encontra justificativa nos seguintes fatos: na maior parte da simulação contínua, essa situação de transferência ocorre. Somente quando o reservatório Coremas é mais operado (com retiradas superiores ao do reservatório Mãe D'Água) foi observada a transferência de água do reservatório Mãe para o Coremas e, como o horizonte de planejamento é de dois anos, operando ambos reservatórios, esta situação é mais provável ocorrer. As simulações foram realizadas pelo modelo MODSIM para o esquema mostrado na Figura 7.32, com os volumes iniciais dos reservatórios na cota de ligação e considerando as seguintes demandas dos reservatórios:

- Mãe D'Água – as demandas do Canal da Redenção, visto que esta está fisicamente ligada a este reservatório;
- Coremas – as demandas de abastecimento, piscicultura e irrigação de jusante seriam atendidas por este reservatório.

Os volumes vertidos serão através do reservatório Mãe D'Água, visto que o vertedor do sistema está situado neste manancial. As prioridades de atendimento das demandas de cada reservatório estão estabelecidas na Tabela 7.30.

Figura 7.31 – Esquema para simulação do sistema Coremas-Mãe D'Água como dois reservatórios.



Siglas:

ZHS – Zona Hidrológica Superior **ZHI** – Zona Hidrológica Inferior

Figura 7.32 - Esquema para o sistema operando os dois reservatórios sem a transposição no MODSIM P32.

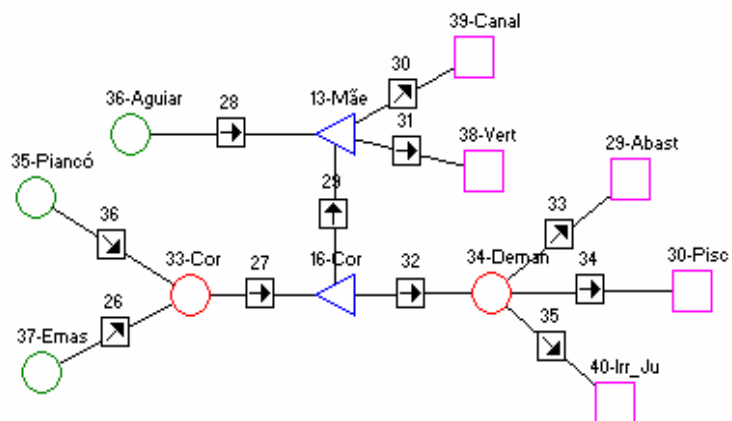


TABELA 7.30 – PRIORIDADES DE ATENDIMENTO DAS DEMANDAS POR ESTADO HIDROLÓGICO DO SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS.

Demandas	Valores		Prioridades por estado hidrológico		
	(m ³ /s)	(%)	Úmido	Médio	Seco
1. Abastecimento, consumo animal e indústria	2,338	25,22	1	1	1
2. Piscicultura	0,036	0,39	1	1	5
3. Irrigação Canal	4,000	43,14	1	1	10
4. Irrigação	2,897	31,25	1	1	15

7.3.3 – O SISTEMA E A TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO

Como última investigação da resposta hídrica do sistema, contido nos objetivos específicos deste trabalho, o comportamento do sistema foi avaliado com o aporte de uma vazão de 10m³/s, advinda com a transposição de águas do rio São Francisco para a bacia do Piancó. Esta alternativa estava inicialmente considerada no Plano da Transposição, alterada posteriormente para a entrada na bacia do Alto Piranhas. Os objetivos da análise do sistema, com o aporte da vazão de transposição, foi não somente avaliar o comportamento hídrico do sistema, no tocante ao atendimento das demandas mas também, quantificar os benefícios advindos desta para o desenvolvimento sócio-econômico da região, através do atendimento dos usos múltiplos existente na região estudada.

Nesta análise foram consideradas as mesmas situações anteriormente estudadas, ou seja, o sistema como um único reservatório, estabelecendo a cota do canal de ligação com limite, zona hidrológica superior (ZHS) e o sistema como dois reservatórios, inicialmente separados, operando-os, simultaneamente, na zona hidrológica inferior (ZHI), para demandas específicas individualizadas.

Ao final foram comparadas as respostas hídricas do sistema com e sem a transposição, analisando os índices e indicadores, anteriormente descritos, avaliando os benefícios financeiros advindos da atividade de irrigação dos perímetros a montante do sistema, caso a transposição seja efetuada pela bacia do rio Piancó.

Os esquemas para as simulações do sistema com a transposição, para a concepção hídrica de um único reservatório, esta representada na Figura 7.33 e, para a concepção hídrica de dois reservatórios está representada na Figura 7.34. As prioridades para atendimento das demandas apresentadas na Tabela 7.30, para o sistema com a transposição, foram consideradas as mesmas para o valor igual à unidade.

Figura 7.33 - Esquema para simulação do sistema como único reservatório com a transposição no MODSIM P32.

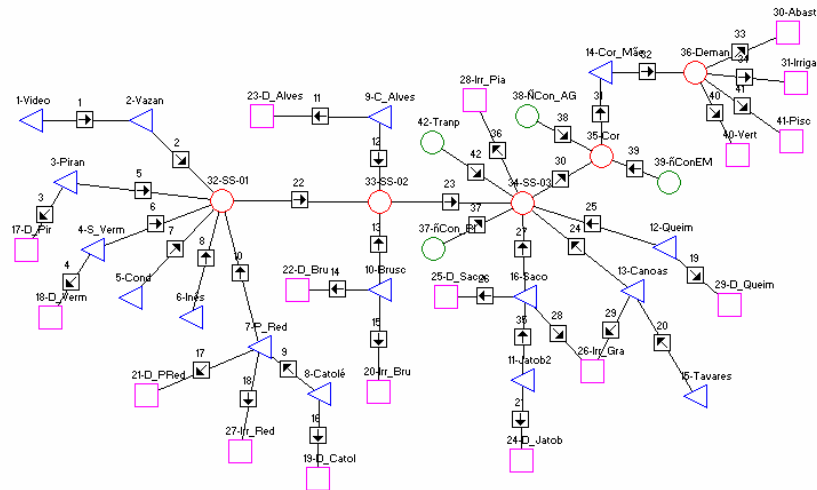
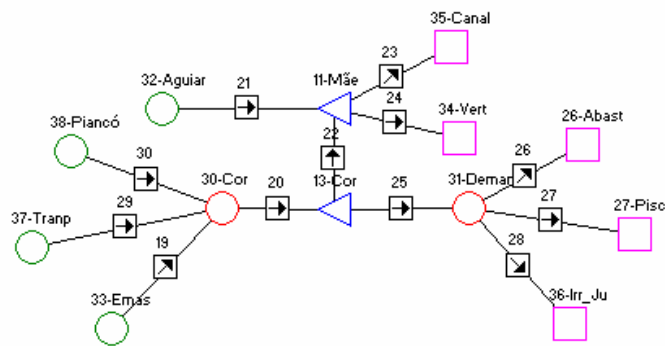


Figura 7.34 - Esquema para o sistema operando os dois reservatórios com a transposição no MODSIM P32.



Os resultados obtidos, para cada cenário e situações idealizadas neste capítulo, estão apresentados e analisados no Capítulo VIII.

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste Capítulo serão apresentados e discutidos os resultados desta pesquisa para as etapas, cenários e situações idealizadas, conforme descrito no Capítulo VII.

8.1 – ETAPA DE DIAGNÓSTICO

Nesta etapa o estudo foi destinado ao conhecimento hídrico do sistema, compreendendo dois cenários: *Atual*, cujo objetivo foi determinar o nível de comprometimento da infra-estrutura hídrica existente e *Idealizados*, onde objetivo foi obter o comportamento hídrico do sistema para as intervenções possíveis no plano: físico, hídrico e operacional na infra-estrutura atual.

8.1.1 – CENÁRIO ATUAL

Para atingir o objetivo desta etapa, ou seja, a análise do comportamento hídrico do sistema global, o estudo dividiu esse sistema em dois grandes grupos: grupo 1, formado por reservatórios, sub-sistemas e tributários e o grupo 2, compreendendo o sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água. Essa análise teve dois objetivos:

- Caracterização hídrica por reservatórios individualmente e por classe de capacidade, para a infra-estrutura hídrica existente;
- Obtenção das contribuições hídricas dos sub-sistemas e dos tributários ao sistema Coremas-Mãe D'Água.; e
- Obtenção das sustentabilidade hídrica do sistema Coremas-Mãe D'Água, através de caracterização individual dos reservatórios e do sistema interligado, segundo as concepções hídricas estabelecidas na Figura 7.24.

8.1.1.1 – RESERVATÓRIOS, SUB-SISTEMAS E TRIBUTÁRIOS

A primeira ação com relação ao estudo do comportamento hídrico do sistema global foi o estudo individualizado da infra-estrutura hídrica existente, analisando os comportamentos de cada reservatórios, individualmente, por grupo de reservatórios, segundo:

as classes de capacidades apresentadas na Seção 3.2.3, por subsistemas de tributários e por tributários, de conformidade com a caracterização hídrica na seção 5.2.

8.1.1.1.1 - CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA INDIVIDUAL DOS RESERVATÓRIOS DE MONTANTE

Foram realizadas simulações contínuas para os 24 reservatórios de montante, utilizando o modelo MODSIM P32, para a série de 53 anos de vazões geradas, estabelecendo-se para os reservatórios os volumes metas de 25% de suas capacidades para os reservatórios comprometidos com abastecimento urbano e de 5% para aqueles sem este comprometimento. Nesta etapa, não foram consideradas as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas. As vazões regularizáveis dos reservatórios foram obtidas considerando uma garantia de 99%, estabelecida para o abastecimento humano. A partir dos dados de vazão regularizável e volumes evaporados, obtidos pelas simulações, foram determinados os índices associados com os reservatórios, descrito na Seção 7.2.2.1. Os dados de vertimentos foram utilizados quando da análise da influência dos mesmos sobre a disponibilidade hídrica dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, descrita nas seções subseqüentes.

Na Tabela 8.31 estão mostrados os índices associados com os reservatórios de montante, bem como as principais características hídricas utilizadas para a obtenção dos mesmos. Algumas observações importantes das análises feitas nestes mananciais estão apresentadas a seguir:

- i. A relação entre as capacidades dos reservatórios de montante do sistema e os volume médios afluentes anuais nas suas respectivas bacias de contribuição, apresentou um valor médio no sistema de 1,50. Esse valor passa para 1,65, quando se consideram os reservatórios Coremas e Mãe D'Água;
- ii. Somente dois reservatórios: *Cachoeira dos Cegos* e *Saco de Nova Olinda* são classificados como reservatórios de grande porte, representando apenas 8,4% do número total considerado no estudo. Entretanto, são responsáveis por 30,6% de toda a disponibilidade dos reservatórios. Isto representa quase a metade do volume armazenado nos 14 reservatórios de porte médio e 5 vezes maior do que o volume total armazenado nos 8 reservatórios de pequeno porte;

Tabela 8.31 – Caracterização hídrica e índices associados com os reservatórios de montante

Reservatório	Capacidade máxima		Índices associados com os reservatórios			Volume médio afluente (hm ³)	Vazão Regularizável (Gar. 99%) (l/s)
	Classe	(hm ³)	I ₁	I ₂ (%)	I ₃ (%)		
1. Glória	Pequeno porte	1,4	0,28	--	--	4,943	--
2. Emas		2,0	0,31	54,2	4,7	6,521	3,0
3. Bom Jesus		3,4	1,16	65,4	9,2	12,667	10,0
4. Frutuoso		3,5	1,24	23,0	11,6	2,837	13,0
5. Boqueirão dos Cochos		4,2	0,85	22,5	13,5	4,951	18,0
6. Vídeo		6,0	2,08	21,3	22,7	2,905	15,0
7. Jatobá II		6,5	0,72	23,3	24,3	6,414	50,0
8. Tavares		6,5	1,62	9,3	7,3	3,983	15,0
9. Vazante	Médio porte	9,1	0,65	21,3	8,7	13,941	25,0
10. Catolé		10,5	1,07	16,4	2,1	9,833	7,0
11. Cachoeira dos Alves		10,6	0,85	25,8	11,9	12,495	40,0
12. Serra Vermelha I		11,8	2,33	15,6	8,0	5,060	30,0
13. Timbaúba		15,4	1,78	17,1	16,3	8,687	80,0
14. Garra		15,5	0,99	17,1	20,3	15,642	100,0
15. Queimadas		15,6	1,33	18,7	12,1	11,709	60,0
16. Piranhas		25,7	1,04	12,6	22,1	24,652	180,0
17. Santa Inês		26,1	2,81	11,1	9,7	9,285	80,0
18. Condado		35,0	3,83	10,0	9,9	9,145	110,0
19. Canoas		36,9	1,65	12,5	12,8	22,390	150,0
20. Bruscas		38,2	1,96	9,9	19,0	19,477	230,0
21. Poço Redondo		49,3	1,93	18,5	20,3	25,513	320,0
22. Jenipapeiro		70,0	1,66	14,1	13,5	42,757	300,0
23. Cachoeira dos Cegos	Grande porte	80,0	1,82	20,2	6,7	43,857	170,0
24. Saco de Nova Olinda		97,5	2,98	10,1	16,2	32,751	500,0
Soma		580,7	--	--	--	352,4	2506,0
Média		24,2	1,50	20,4	13,2	14,7	109,0
Índices:							
I ₁ – Capacidade do reservatório versus volume médio afluente; I ₂ – Evaporação no reservatório versus capacidade;							
I ₃ – Vazão máxima regularizável versus Capacidade do reservatório (Rendimento hídrico).							

iii. Com relação aos índices associados aos reservatórios pode-se fazer as seguintes considerações:

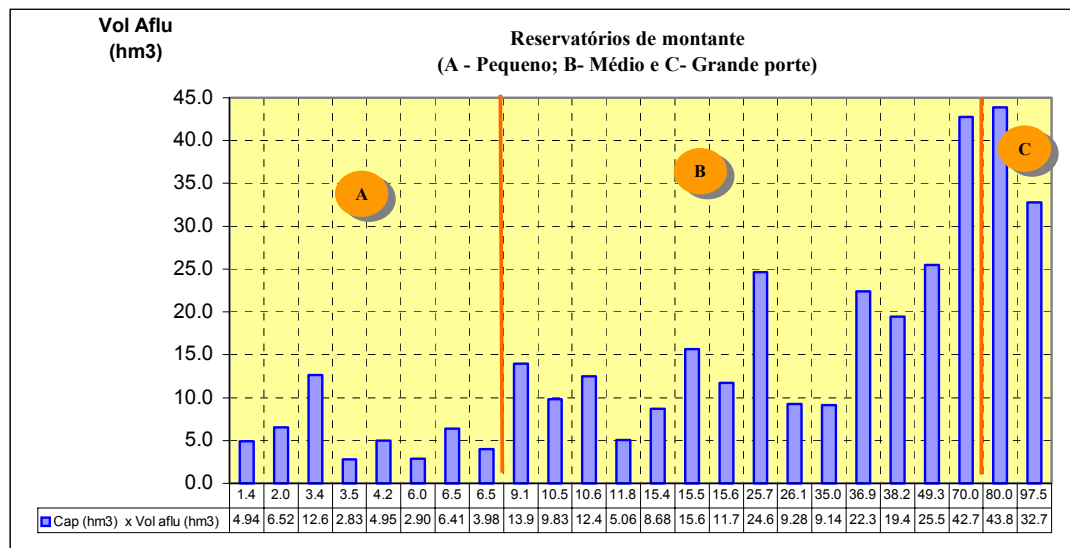
a. **Índice I₁** (Capacidade versus Volume médio afluente anual):

- O valor médio que relaciona a capacidade dos reservatórios e os volumes afluentes médios anuais nas suas bacias de contribuição, foi de 1,5. Isto indica que, em média, as capacidades dos reservatórios do sistema foram dimensionadas para uma vez e meia os volumes médios que escoam na suas respectivas bacias de contribuição; e

- O maior valor desse parâmetro foi observado para o reservatório *Condado*, com o valor de 3,83 e a menor foi obtido para o reservatório *Glória*, com apenas 0,28, indicando, neste caso, pouca exploração do potencial da sua bacia de contribuição.

O gráfico da Figura 8.35 mostra a distribuição das capacidades dos reservatórios versus os volumes médios afluentes anuais

Figura 8.35 – Capacidade máxima dos reservatórios de montante versus volumes afluentes

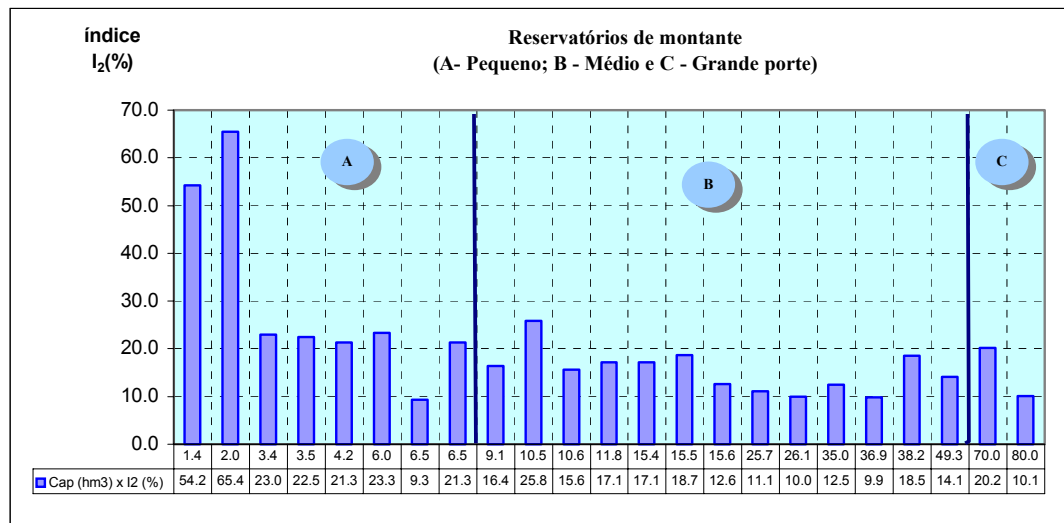


b. **Índice I₂** (Evaporação versus Capacidade):

- O percentual médio de evaporação dos reservatórios de montante foi de 20,4%, ou seja, os reservatórios podem perder, em média por ano 20,4 % da sua capacidade máxima por evaporação; e
- Observação se faz aos reservatórios *Emas* e *Bom Jesus*, cujos percentuais de perda por evaporação chegaram aos valores de 54,2% e de 65,4%, respectivamente, valores muito acima da média observada. Isto mostra o efeito da evaporação em pequenos reservatórios em regiões semi-áridas, onde se observam, para os reservatórios com pequenas capacidades (até 2,0hm³), pouca ou nenhuma capacidade de regularização de vazão e alta taxa de perda por evaporação. Para estes, recomenda-se à utilização das disponibilidades o máximo possível, evitando volumes altos de armazenamento, muito comum na região estudada, diminuindo assim, as perdas por evaporação e maximizando o uso das disponibilidades hídricas dos reservatórios.

O gráfico da Figura 8.36 mostra a distribuição das capacidades máximas dos reservatórios versus os volumes médios evaporados.

Figura 8.36 – Capacidade dos reservatórios de montante versus volumes evaporados

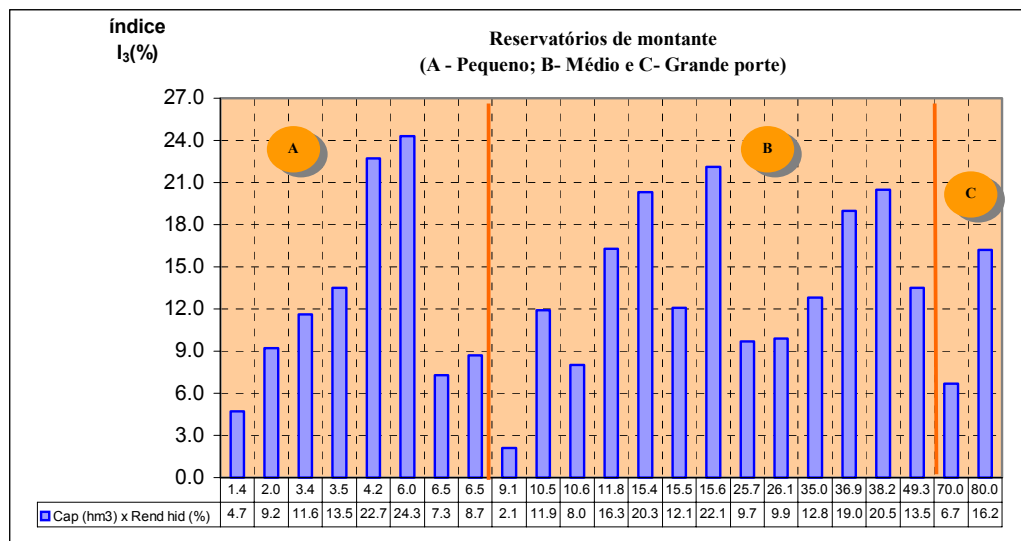


c. **Índice I₃** Vazão máxima regularizável versus Capacidade de acumulação (Rendimento hídrico):

- O valor médio deste índice encontrado para os reservatórios de montante foi de 13,2%, ou seja, do total acumulado pelos reservatórios, poder-se-á, teoricamente, disponibilizar 13,2% desse volume para retiradas contínuas para atendimento dos diversos usos da água (vazão regularizável para uma garantia de 99%); e
- Os maiores percentuais observados, com relação a disponibilização de seus volumes máximos acumuláveis, foram os reservatórios: *Jatobá II* (24,3%), *Vídeo* (22,7%), *Piranhas* (22,1%) *Poço Redondo e Garra* (20,3%). Esses dois últimos, para as capacidades propostas pelo autor, no estudo sobre suas capacidades ótimas, através de trabalho de consultoria a SEMARH.

O gráfico da Figura 8.37 mostra a distribuição das capacidades máximas dos reservatórios versus os rendimentos hídricos.

Figura 8.37 – Capacidade dos reservatórios de montante versus rendimento hídrico



8.1.1.1.2 - CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DOS RESERVATÓRIOS POR CLASSE DE CAPACIDADE

Foram também analisados os reservatórios de montante segundo sua classe, conforme a classificação apresentada na Tabela 8.31. Do total de 24 reservatórios de montante (não considerando o sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água), 8 foram classificados como de pequeno porte, 14 de médio porte e somente 2 de grande porte, cujas características hídricas totais e os índices médios associados aos mesmos, estão mostrados nas Tabelas 8.32 e 8.33.

Tabela 8.32 – Valores totais de capacidade, afluência e vazão regularizável dos reservatórios

Classe de reservatório	Reservatórios		Capacidade		Volume afluente Médio anual		Vazão max. regularizável (Garantia de 99%)	
	Nº	(%)	(hm ³)	(%)	(hm ³)	(%)	(l/s)	(%)
<i>Pequeno</i>	08	33,3	33,49	5,8	45,22	12,8	124,0	4,9
<i>Médio</i>	14	58,3	369,67	63,7	230,59	65,5	1.712,0	68,4
<i>Grande</i>	02	8,4	117,50	30,6	76,60	21,7	670,0	26,7

Tabela 8.33 – Valores característicos e índices médios por classe de reservatórios

Classe de reservatório	Capacidade média (hm ³)	Volume médio afluente anual (hm ³)	Qreg. (Garantia 99%) (l/s)	Índices		
				I ₁	I ₂ (%)	I ₃ (%)
<i>Pequeno</i>	4,19	5,653	17,7	1,0	31,3	13,3
<i>Médio</i>	26,41	16,470	122,3	1,7	15,8	13,4
<i>Grande</i>	88,75	38,304	335,0	2,4	15,2	11,4

Dos valores apresentados nas Tabelas 8.32 e 8.33, faz-se as seguintes análises:

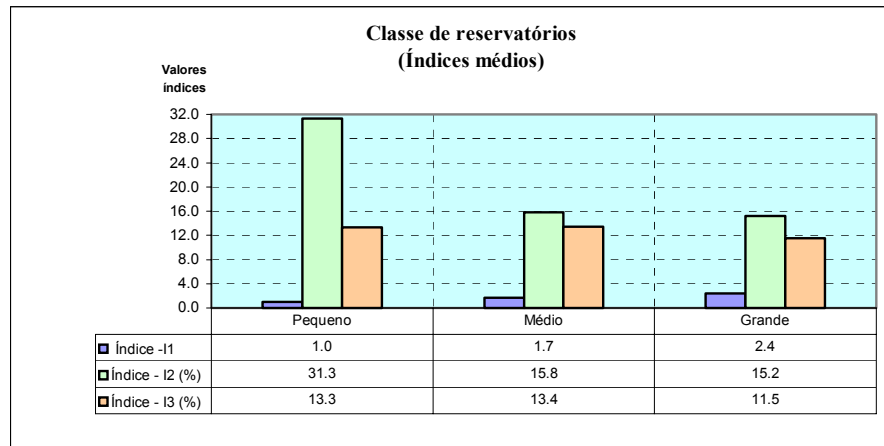
i. Com relação às capacidades, volumes afluentes e vazões regularizáveis

- Os reservatórios de médio porte se configuram como os mais freqüentes e importantes do sistema de montante ao Coremas-Mãe D'Água visto que: detém 63,7% de todo volume acumulado nos reservatórios, 65,5% dos volumes médios afluentes e 68,4% do total da vazão regularizável do sistema; e
- Entretanto, os valores médios desse parâmetros foram mais expressivos nos reservatórios de grande porte (Tabela 8.33).

ii. Com relação aos índices I_1 , I_2 , I_3 :

- O índice I_1 , que associa a capacidade dos reservatórios com os volumes médios afluentes anuais. Aumentou em função da classe dos reservatórios, de pequeno para de grande, indicando que, em média, os grandes reservatórios apresentaram melhor aproveitamento dos volumes afluentes nas suas respectivas bacias de contribuição. Embora, individualmente esta observação não foi seguida;
- O índice I_2 , que relaciona o volume evaporado com a capacidade máxima do reservatório. Decresceu com o aumento da classe dos reservatórios, confirmando os resultados obtidos na análise individual dos reservatórios, ou seja, pequenos reservatórios apresentaram maiores percentuais de perdas por evaporação; e
- O índice I_3 , que relaciona a vazão regularizável com a capacidade máxima do reservatório. Teve pouca variação entre as classes, embora, a classe de grande porte tenha mostrado o menor valor. Isto indica que existe um limite para o ganho de vazão regularizável em função da capacidade do reservatório onde, a partir da qual, para a mesma série de vazão afluente, o ganho percentual de vazão regularizável versus capacidade é desprezível, sendo esta capacidade admitida com ótima, em termos de ganho de vazão regularizável.

A Figura 8.38 mostra os gráficos dos índices por classe de reservatórios.

Figura 8.38 – Índices por classe de reservatórios de montante

8.1.1.1.3 -VAZÕES FORNECIDAS PELOS SUB-SISTEMAS E PELOS TRIBUTÁRIOS

Nesta seção foram obtidas as vazões médias fornecidas pelos tributários e sub-sistemas de cada tributário ao sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água, com o uso do modelo MODSIM P32 para série de vazões estudada. O objetivo dessa análise foi verificar qual a vazão que cada sub-sistema e tributário poderá fornecer ao citado sistema, após garantir suas demandas de abastecimento.

Este estudo é de fundamental importância no caso do tributário 2, pois nele estão localizadas as maiores demandas para irrigação, principalmente dos projetos Piancó II, III e Piancó Brotas, que juntos somam uma área de aproximadamente 2.500 ha. Pretende-se nesse estudo avaliar a máxima vazão que se poderá destinar a outros usos, principalmente, para irrigação sem comprometimento das demandas de jusante do sistema. Num primeiro momento serão avaliadas as parcelas correspondentes aos vertimentos dos reservatórios a fim de se obter as disponibilidades do sistema, quando se consideram apenas esses afluxos. Os valores das vazões médias dos vertimentos dos reservatórios que compõem os tributários e sub-sistema, bem como, os sentidos dos fluxos estão apresentados na Tabela 8.34.

Os resultados apresentados na referida tabela justificam o enfoque dado por este trabalho ao tributário Piancó, visto que, o maior percentual de contribuição ao sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água advém desse tributário, com o valor percentual de 60,72% de toda contribuição fornecida por vertimento pelos reservatórios de montante.

Tabela 8.34 – Vazões médias fornecidas pelos tributários e sub-sistemas (SS) ao sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água (SCM).

Tributários	Sub sistemas	Sentido do fluxo	Vazão média fornecida	
			(m ³ /s)	(%)
Tributário Aguiar (01)	--	Fornece ao SCM	0,11	1,32
Tributário Piancó (02)	SS-01	Fornece ao SS-02	2,39	--
	SS-02	Fornece ao SS-03	3,13	--
	SS-03	Fornece ao SCM	5,07	60,72
Tributário Emas (03)	--	Fornece ao SCM	3,17	37,96
Total fornecido ao Sistema Coremas-Mãe D'Água (SCM)			8,35	100,00

Essa análise é de suma importância para o estabelecimento de políticas operacionais desses reservatórios no que tange ao uso das suas disponibilidades hídricas versus volumes vertidos. Maior uso desses recursos diminuirá os volumes vertidos, visto que, no período chuvoso, os reservatórios estariam com maiores volumes de espera, conseqüentemente, acumularão maiores volumes afluentes, diminuindo assim, os volumes efluentes dos mesmos por vertimento que irão alimentar o sistema Coremas-Mãe D'Água que, por sua vez, poderiam comprometer o atendimento as demandas hídricas de jusante do referido sistema.

8.1.1.2 – OS RESERVATÓRIOS COREMAS E MÃE D'ÁGUA

Após as caracterizações e análises do sistema de reservatórios de montante, passou-se a analisar o comportamento hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água, fazendo-se, primeiramente uma caracterização individual dos dois reservatórios e, numa segunda fase, do sistema integrado, para os cenários e situações apresentadas no organograma da Figura 7.21. Os resultados serão analisados nas seções subseqüentes.

8.1.1.2.1 - CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA INDIVIDUAL DOS RESERVATÓRIOS COREMAS E MÃE D'ÁGUA

O objetivo é a caracterização hídrica dos reservatórios individualmente através da obtenção dos mesmos índices (I_1 , I_2 e I_3), determinados no estudo dos reservatórios de montante. Para tanto, foram realizadas simulações contínuas (período de 1937/89) individualmente para cada reservatório, utilizando o modelo MODSIM P32, considerando os vertimentos dos reservatórios de montante, conforme o esquema mostrado na Figura 8.39. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.35.

Figura 8.39 – Esquemas para as simulações dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água

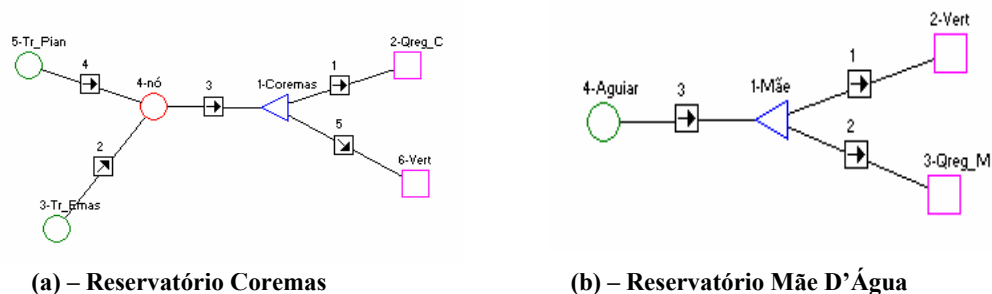


Tabela 8.35 – Valores característicos e índices médios dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água

Reservatório	Capacidade (hm ³)	Vol. Afluyente ⁽¹⁾ (hm ³)	Qreg. (99%) ⁽²⁾ (m ³ /s)	Índices médios		
				I ₁	I ₂ (%)	I ₃ (%)
Coremas	720,0	784,931	7,50	0,92	10,18	32,85
Mãe D'Água	638,7	135.036	1,56	4,73	9,20	7,70

Observações:
 (1) - Referente às áreas não controladas e pelos vertimentos dos reservatórios de montante;
 (2) - Período de vazões geradas pelo MODHAC: 1937/1989.

Algumas análises dos índices associados aos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, apresentados na Tabela 8.35, podem ser feitas em relação aos valores médios encontrados para os reservatórios de montante:

- A relação entre a capacidade e o volume afluyente anual (índice I₁) do reservatório Coremas foi de 0,92, que representa um percentual de 38,6% abaixo da média dos reservatórios de montante, indicando pouca exploração do potencial hídrico da sua bacia hidrográfica;
- As perdas por evaporação obtidas para os dois reservatórios (índice I₂) ficaram com os seguintes percentuais abaixo da média: Coremas (50%) e Mãe D'Água (55%), indicando baixo índice de perda por evaporação, em relação ao sistema de montante. Esta constatação foi confirmadora de menores taxas de perda por evaporação para maiores classes de capacidade dos reservatórios da região; e
- Com relação ao índice I₃ (rendimento hídrico), o maior valor foi obtido para o reservatório Coremas, com 35,85%, representando, aproximadamente, 2,5 vezes superior à média observada para os reservatórios de montante. Esse percentual é indicativo de um excelente aproveitamento do potencial hídrico da sua bacia de

contribuição. O mesmo não foi observado para o reservatório Mãe D'Água que apresentou um valor de 7,7%, ficando abaixo da média em 62,2%.

Ainda são feitas observações da Tabela 8.35, com relação: ao volume médio de afluência anual ao reservatório Coremas, com um valor aproximado de 4 vezes superior ao volume afluente ao reservatório Mãe D'Água e também, ao valor do índice I_1 obtido para o reservatório *Mãe D'Água*, de 4,85, muito acima da média dos demais reservatórios de montante (valor de 1,5). Apenas o reservatório *Condado* apresentou um valor próximo, de 3,83. Estes valores são indicativos, *a priori*, de super dimensionamento das capacidades dos referidos reservatórios, em relação os volumes médios afluentes anuais das suas bacias de contribuição.

8.1.1.2.2 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HÍDRICO DOS RESERVATÓRIOS COREMAS E MÃE D'ÁGUA

A primeira análise desta pesquisa, sobre o comportamento do referido sistema foi com relação as suas sustentabilidade hídrica em função da sua concepção nos planos: físico, hídrico e operacional dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água. O comportamento hídrico desse sistema é bastante complexo devido à interligação desses reservatórios acontecer até a cota 237 m, através de um canal de ligação com capacidade de transportar uma vazão máxima de 12 m³/s, a partir da qual se forma um único lago entre os reservatórios, com a profundidade de 8,0 m abaixo da capacidade máxima do sistema.

A grande questão está na interpretação do seu comportamento, pois, até a profundidade do referido canal, que corresponde a 51,7% do volume total, o sistema tem o comportamento de um único reservatório e, a partir dessa profundidade, o sistema passa a ter comportamento individualizado por reservatório. Normalmente, esse sistema é concebido como um único reservatório e a avaliação da sua disponibilidade hídrica é processada a partir de uma única curva *cota x área x volume*, representativa da soma das curvas dos dois reservatórios.

Por entender que esta não seria a melhor forma de representar tal sistema, foi realizada uma avaliação, a título de investigação, sobre o seu comportamento hídrico em função das concepções mostradas pela Figura 7.21. As condições estabelecidas para as análises foram:

- Sem as conclusões dos reservatórios de montante: Garra, Poço Redondo e Canoas;

- Com e sem os vertimentos dos reservatórios de montante, considerando que estes somente atenderiam as demandas de abastecimento urbano;
- Reservas mínimas estabelecidas para os reservatórios (volumes metas): 25% das capacidades para reservatórios com abastecimento e 5% sem abastecimento;
- Operando os dois reservatórios simultaneamente e individualmente; e
- Variando a cota do Canal de ligação entre os reservatórios Coremas e Mãe D'Água.

Foram utilizados os modelos MODSIM P32, para os caso de não transferência de água e com transferência de Coremas para Mãe D'Água e o modelo SinCOMA, para transferência mútua entre esses com modelo baseado no princípio de *vasos comunicantes*. As respostas foram analisadas para a série de 53 anos de dados de vazão, considerando os seguintes casos:

- i. As vazões máximas regularizáveis do sistema com a garantia de 99%;
- ii. Os volumes médios evaporados;
- iii. Os volumes finais de cada um dos reservatórios do sistema;
- iv. A operação dos reservatórios;
- v. A influência dos vertimentos dos reservatórios de montante sobre as disponibilidades hídricas do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água; e
- vi. Os índices I_1 , I_2 e I_3 , associados com a concepção hídrica do referido sistema.

As análises dos vertimentos e dos índices associados com o sistema, a nível de comparação, foram utilizadas as concepções hídricas **(a)** e **(b)** apresentada na figura 7.24. Isto porque, a concepção **(c)** será alvo de extensas análises do comportamento do sistema a serem realizadas nos cenários idealizados na Seção 8.1.2, na qual esses parâmetros serão também avaliados e comparados com as concepções analisadas nesta seção. Os resultados das avaliações para os casos **i**, **ii**, **iii** e **iv** estão apresentados na Tabela 8.36, para o caso **v**, na Tabela 8.37 e para o caso **vi**, na Tabela 8.38.

Tabela 8.36 – Vazões máximas regularizáveis, volumes médios evaporados e volumes finais do sistema Coremas-Mãe D'Água

Concepções Hídrica	Operação do sistema	Qreg (99%) (m ³ /s)	Vol. méd. anual Evap. (hm ³)	Volume final	
				(hm ³)	(% capac.)
Único reservatório (caso a)	Único	8,92	140,472	1.140,80	84,0
Dois reservatórios (caso b)	Os dois reservatórios	10,02	186,384	1.051,37	77,4
	Somente Mãe D'Água	10,15	184,404	1.049,31	77,2
Dois reservatórios (caso c)	Somente Mãe D'Água	9,36	244,224	1.117,52	82,2
	Somente Coremas	10,86	240,624	1.064,22	78,3
	Os dois reservatórios	10,68	236,400	1.164,87	85,7

Observações:
Casos (a) e (b) – modelo utilizado: MODSIM P32 e Caso (c) - modelo utilizado: SimCOMA.

Tabela 8.37 – Influência dos vertimentos dos reservatórios de montante sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água

Concepções Hídrica	Operação do sistema	Qreg (99%) em m ³ /s		Ganho de Qreg c/ vertimento	
		Sem vert.	Com vert.	(m ³ /s)	(%)
Único reservatório (caso a)	Único	6,45	8,92	2,47	38,3
Dois reservatórios (caso b)	Os dois reservatórios	7,42	10,02	2,60	35,0
Dois reservatórios (caso c)		8,53	10,68	2,15	25,2

Tabela 8.38 – Valores médios dos índices associados com os reservatórios Coremas e Mãe D'Água.

Concepções Hídrica	Operação do sistema	Qreg (m ³ /s)	Vol. Afluente (hm ³)	Índices		
				I ₁	I ₂ (%)	I ₃ (%)
Único reservatório (caso a)	Único	8,92	919,967	1,48	10,35	20,7
Dois reservatórios (caso b)	Os dois reservatórios	10,02			13,72	23,3
Dois reservatórios (caso c)		10,68			17,40	24,8

Os valores dos parâmetros e índices apresentados nas Tabelas 8.36, 8.37 e 8.38 são a seguir comentados, comparando-os segundo as concepções hídricas do sistema (Figura 7.2.1), para os casos anteriormente descritos.

1. COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCEPÇÕES HÍDRICAS (a) e (b) DO SISTEMA

Único reservatório versus dois reservatórios interligados, com transferência de água exclusivamente do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água.

i. Com relação às vazões máximas regularizáveis do sistema

A Tabela 8.36 mostra um ganho máximo de vazão regularizável de 1,23 m³/s na concepção hídrica (**b**) em relação a concepção hídrica (**a**). Os dados obtidos revelam ainda que, na concepção hídrica (**b**), o ganho maior desse parâmetro foi quando se opera apenas o reservatório Mãe D'Água, até a cota mínima do canal da Redenção, estabelecida como mínima para operação do referido reservatório. Entretanto, concepção hídrica, a liberação de água para a geração de energia não seria possível, visto que esta ocorre pelo reservatório Coremas. Neste caso, houve um ganho de vazão regularizável de 0,13 m³/s, em relação à operação em ambos reservatórios. Embora esta situação não seja uma realidade, esta avaliação mostra a resposta hídrica do sistema caso haja, no futuro, uma possível desativação da Usina de Geração de Energia de Coremas.

Deve ser salientado o ganho de vazão regularizável concepção hídrica do sistema (**b**), em relação à concepção hídrica (**a**), indicando que a interligação parcial dos reservatórios, mesmo que com transferência unilateral (Coremas para Mãe D'Água), apresentou um melhor rendimento hídrico do sistema, independente da forma de operação dos reservatórios.

ii. Com relação aos volumes médios evaporados

As perdas por evaporação observadas na Tabela 8.36 foram menores quando se considerou o sistema como um único reservatório (concepção **a**), com 45,912 hm³ (24,6%) a menos por ano em relação à concepção hídrica (**b**), na situação de operação mútua dos reservatórios, e de 43,932 hm³ (23,5%) a menos na situação de operação apenas do reservatório Mãe D'Água. Deste fato, duas considerações podem ser feitas:

- A superfície líquida formada pelo sistema como um único reservatório é menor do que a soma das superfícies líquidas dos dois reservatórios individualmente. Isto mostra que, a curva *cota x área x volume* utilizada para representaria o sistema como um único reservatório, não corresponde à soma das áreas e dos volumes dos dois reservatórios; e
- As retiradas de água do sistema, na concepção hídrica (**b**), produziram superfícies líquidas maiores quando foram operados os dois reservatórios simultaneamente do que somente o reservatório Mãe D'Água, apresentando maiores perdas por evaporação.

iii. Com relação aos volumes finais

Os dados apresentados na Tabela 8.36 revelaram que volume final do sistema na concepção hídrica (**a**) foi superior ao do que na concepção hídrica (**b**) em $89,43 \text{ hm}^3$, com a operação dos dois reservatórios e, em $91,59 \text{ hm}^3$, com a operação apenas do reservatório Mãe D'Água. Entretanto, a vazão máxima regularizável do sistema no primeiro caso foi inferior, indicando que esta concepção apresenta menor rendimento hídrico do que quando se concebeu o sistema como dois reservatórios.

iv. Com relação à operação dos reservatórios

Na concepção hídrica do sistema como dois reservatórios, a operação de somente o reservatório Mãe D'Água apresentou um melhor desempenho hídrico do mesmo. Este fato está ligado a limitação física que foi imposta ao reservatório Coremas, limitando-se a sua capacidade máxima em 373 hm^3 , referente à cota do canal de ligação (237m) entre os reservatórios.

v. Com relação à influência dos vertimentos dos reservatórios de montante

A influência dos vertimentos dos reservatórios de montante sobre as disponibilidades hídricas do sistema foi mais representativa na concepção hídrica do sistema como *dois reservatórios* do que na concepção do sistema como um *único reservatório* (Tabela 8.37). Isto se deve ao fato da forma de operação dos reservatórios ser diferenciada nas duas concepções hídrica idealizadas par o estudo do sistema.

vi. Com relação aos índices associados com o sistema

Os valores apresentados na Tabela 8.38 revelam que, com relação ao índice I_2 , o sistema concebido na concepção hídrica (**a**), teve menor valor do que na concepção (**b**), indicando menor perda por evaporação na concepção do sistema como um único reservatório. Este índice apenas confirma o que já tinha sido comentado anteriormente no item *ii*. Com relação ao índice I_3 , que relaciona *vazão regularizável* com a *capacidade máxima*, a concepção hídrica (**b**) apresentou maior valor, indicando que, para esta concepção hídrica, o sistema apresentou maior rendimento hídrico, conforme comentado no item *i*.

Dentro do contexto das avaliações comparativas anteriores, pode-se dizer que a concepção da estrutura hídrica do sistema de reservatórios Corema-Mãe D'Água, considerando-o como um ou dois reservatórios interligados e ainda, a forma de operação dos mesmos, interferem de forma decisiva na resposta do sistema, no que tange: a vazão regularizável, aos volumes evaporados e aos volumes finais do referido sistema.

2. COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCEPÇÕES HÍDRICAS (b) e (c) DO SISTEMA

Dois reservatórios interligados, com transferência de água do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água versus com transferência mútua entre os reservatórios. As análises realizadas nestas duas concepções hídricas tiveram como objetivo obter as respostas quanto à capacidade de regularização do sistema, tendo o fator físico como determinante: único reservatório e dois reservatórios. A transferência hídrica, na concepção do sistema como dois reservatórios (Coremas para Mãe D'Água), foi limitada pela própria estrutura do modelo MODSIM P32 que não permite fluxos de água nos dois sentidos. Nesta seção, o principal objetivo é analisar o comportamento hídrico do sistema com o incremento da transferência mútua de água entre os dois reservatórios e compará-las com as respostas obtidas nas concepções hídricas (a) e (b) do sistema, principalmente na concepção (b). Para as simulações do sistema na concepção idealizada na concepção hídrica (c) foi utilizado o modelo SimCOMA, desenvolvido neste trabalho com esta finalidade, conforme apresentado na Seção 5.4.4. Passa-se, a seguir, as análises das respostas do sistema apresentadas nas Tabelas 8.36, 8.37 e 8.38 para os mesmos enfoques anteriormente analisadas.

i. Com relação às vazões máximas regularizáveis do sistema

Os resultados apresentados na Tabela 8.36 mostraram um ganho significativo da vazão regularizável do sistema, operando os dois reservatórios, na concepção hídrica (c) em relação a concepção (b), chegando a um valor máximo de 0,66 m³/s, que representa um ganho percentual de 6,6% para as mesmas condições de operação do sistema na concepção hídrica (b). Com relação à concepção hídrica (a), único reservatório, o ganho chegou a um valor de 1,76 m³/s, representando um percentual de 19,7% na vazão regularizável do sistema.

Os valores apresentados para os reservatórios operados individualmente (somente Mãe D'Água e somente Coremas) nas concepções hídricas (b) e (c) tiveram o enfoque de caráter investigativo, visto que, na prática, isto não ocorria devido às demandas individuais que cada reservatório do sistema teria que atender. O objetivo dessa análise foi de refletir a dificuldade

de representação matemática da limitação física inserida pelo o canal de ligação entre os reservatórios. Para o caso de operação de um *único reservatório*, a concepção hídrica (**b**), operando somente Mãe D'Água, com transferência de água do reservatório Coremas, apresentou melhor rendimento hídrico do sistema, com uma vazão máxima regularizável igual a 10,15 m³/s. Entretanto, essa limitação de transferência de água imposta pelo modelo MODSIM P32 não reflete a realidade, na medida em que, quando se opera o reservatório Mãe D'Água, usando o modelo de transferência mútua de água (SimCOMA), a vazão regularizável máxima do sistema ficou 7,7% abaixo desse valor. Ou seja, quando comparado os valores de vazão regularizável, operando somente o reservatório Mãe D'Água, utilizando os modelos de transferência de água unilateral e mútua, a diferença percentual ficou em torno de 8% a menos na última alternativa. Isto quer dizer que houve transferência do reservatório Mãe D'Água para o Coremas durante o período simulado.

Nas operações individuais apresentadas na concepção hídrica (**c**) revelaram a interferência física sobre o sistema devido ao canal na limitação sobre as vazões regularizáveis, tanto na operação de somente o reservatório Mãe D'Água, quanto do reservatório Coremas, tendo sido obtida na última situação, um melhor rendimento hídrico do sistema. Nesta situação de operação o sistema regularizaria uma vazão de 0,20 m³/s a mais do que quando operado os dois reservatórios simultaneamente. Este ganho atribui-se a menor vazão de transferência do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água, pois o mesmo, nesta situação, não estaria sendo operado.

ii. Com relação aos volumes médios evaporados

Para as situações de ambos reservatórios operados, a perda média anual por evaporação observada na concepção hídrica (**c**) foi 50,0 hm³ (26,8%), superior ao da concepção (**b**), a qual leva-se a concluir que, a transferência mútua de água entre os reservatórios promoveu maiores superfícies líquidas no sistema, causando maiores perdas por evaporação. Também foi observado que a forma como se opera os reservatórios na concepção hídrica (**c**), com relação às retiradas de água dos mesmos, não interferiu sobre os valores médios dos volumes evaporados do sistema.

iii. Com relação aos volumes finais

Os volumes finais observados para o sistema, em todas as situações de operação dos reservatórios na concepção hídrica (**c**) foram superiores ao da concepção (**b**), com um

percentual médio de 8,5%. A concepção do sistema como dois reservatórios, operados simultaneamente e com transferência mútua entre eles, apresentou a maior relação entre a vazão máxima regularizável e o volume final do sistema (30,5%), ou seja, o melhor rendimento hídrico do sistema. Este fato é de suma importância para operação do sistema, visto que, no estabelecimento de determinados volumes metas para esse sistema, esta concepção apresentaria o maior valor da disponibilidade hídrica a ser utilizado, fornecendo maiores vazões e ainda apresentaria um maior volume final do sistema.

iv. Com relação à operação dos reservatórios

O melhor rendimento hídrico obtido para o sistema foi quando se operou apenas o reservatório Coremas. Entretanto essa situação é hipotética e somente teve o objetivo investigativo. Para a situação real, ou seja, os dois reservatórios operados na concepção hídrica (c), o sistema apresentou maior valor de vazões regularizável do que na concepção hídrica (b), indicando perdas de vazão regularizável decorrentes da restrição hídrica de transferência de água unilateralmente, do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água..

v. Com relação à influência dos vertimentos dos reservatórios de montante

Os valores apresentados na Tabela 8.37 revelaram que, na concepção hídrica (b), este parâmetro foi mais significativo na disponibilidade hídrica do sistema, sendo responsável pelo ganho de 2,60 m³/s (35%) na vazão máxima regularizável. Na concepção hídrica (c), esse valor caiu um pouco para 2,15 m³/s, representando ainda assim, um aumento de 25,2%. Essa diferença é indicativa da influência da limitação hídrica imposta pelo modelo MODSIM P32, onde a transferência era exclusiva do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água.

vi. Com relação aos índices associados com o sistema

Os valores dos índices associados às concepções hídricas do sistema, apresentados na Tabela 8.8, confirmam as análises feitas nos itens anteriormente apresentados, no que tange: à vazão regularizável, aos volumes evaporados e aos rendimentos hídricos.

As análises realizadas nos itens *i* e *ii* revelaram uma grande variabilidade da vazão regularizável do sistema Coremas-Mãe D'Água. Esta variabilidade está associada não somente a concepção hídrica e a operação destes reservatórios mas, também, das operações

dos reservatórios de montante, visto que as mesmas são determinantes nos respectivos volumes vertidos e, esses, nas disponibilidades hídricas do sistema como um todo. De uma maneira geral os vertimentos dos reservatórios de montante contribuíram em média com 36,5% das disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Águi, variando entre 35% e 38,5%, em função da concepção hídrica adotada.

3. O CANAL DE LIGAÇÃO ENTRE OS RESERVATÓRIOS

Não concepção hídrica do sistema com dois reservatórios interligados parcialmente, com transferência mútua de água entre eles, analisou-se ainda, a nível investigativo, qual a interferência do canal de ligação entre os dois reservatórios sobre a vazão máxima regularizável do sistema Coremas-Mãe D'Água. Para tanto foram realizadas simulações contínuas para a série de 53 anos de dados de afluência, para rebaixamentos sucessivos de um metro a partir da cota 237m (atual) até a cota 231m, que representa a cota mínima da tomada d'água do *Canal da Redenção*. Foram obtidos os valores de vazão máxima regularizável do sistema Coremas-Mãe D'Água, em função das seguintes opções de retiradas de águas dos reservatórios:

1ª opção: fixando uma retirada máxima de 5,0 m³/s, admitida como mínima para geração de energia da usina de Coremas e, operando o reservatório Mãe D'Água para uma retirada máxima possível; e

2ª opção: fixando uma retirada máxima de 4,0 m³/s, admitida demanda do Canal da Redenção e, operando o reservatório Coremas para uma retirada máxima possível.

O objetivo dessa investigação foi tão somente analisar a intervenção física no canal sobre as disponibilidades hídricas do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água, quando operados individualmente, visto que os mesmos possuem cotas mínimas diferenciadas, tomadas de água e demandas independentes. Os resultados estão mostrados nas Figuras 8.40 e 8.41, para os reservatórios individualizados e para o sistema integrado, respectivamente. A partir das referidas figuras, as seguintes análises podem ser feitas:

- Para o sistema Coremas-Mãe D'Água, o maior ganho de vazão regularizável seria ter o canal rebaixado até a cota 234 m, com um valor de 0,30 m³/s em relação à cota atual;

- O rebaixamento do canal de ligação até a cota 231 m (*canal da Redenção*) privilegia o reservatório Mãe D'Água, o qual teria sua disponibilidade hídrica aumentada em $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$, mantendo-se uma retirada fixa de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ do reservatório Coremas. Entretanto, o sistema perdeu, em relação à situação anterior, uma vazão de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$; e
- Com o canal na cota 231 m, o sistema regularizou a mesma vazão máxima de $10,68 \text{ m}^3/\text{s}$, independente das opções de retirada de água dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água.

As análises anteriormente feitas mostram que o conceito de vazão regularizável (ou regularizada) não é recomendado como parâmetro para definições do planejamento de ações de aproveitamento hídrico de sistemas integrados complexos, como o sistema estudado, devido a sua grande vulnerabilidade diante das considerações anteriormente descritas.

Apesar deste parâmetro ser alvo de estudo, ainda na etapa de diagnóstico, nas análises que serão realizadas nos cenários idealizados (Seção 8.1.2), a constatação descrita no parágrafo anterior proporcionou a estruturação da segunda etapa desta pesquisa, a qual está relacionada com a análise de cenários e situações operacionais idealizados e com a análise e sugestões para a elaboração de um plano operacional de uso das disponibilidades hídricas para o sistema estudado.

Figura 8.40 – Vazões regularizáveis por rebaixamento do canal de ligação para os reservatórios individualizados e para o sistema Coremas-Mãe D'Água.

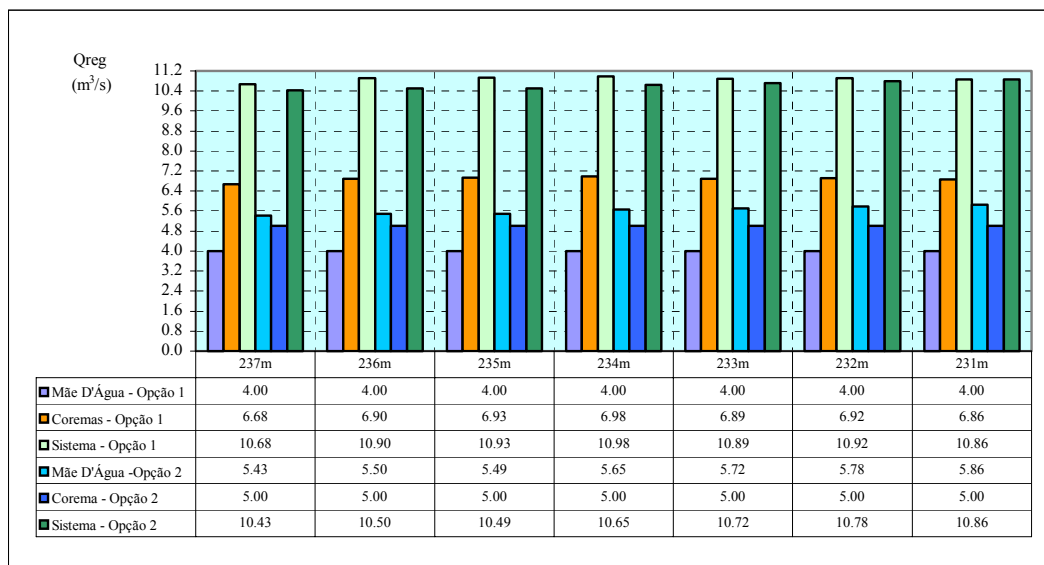
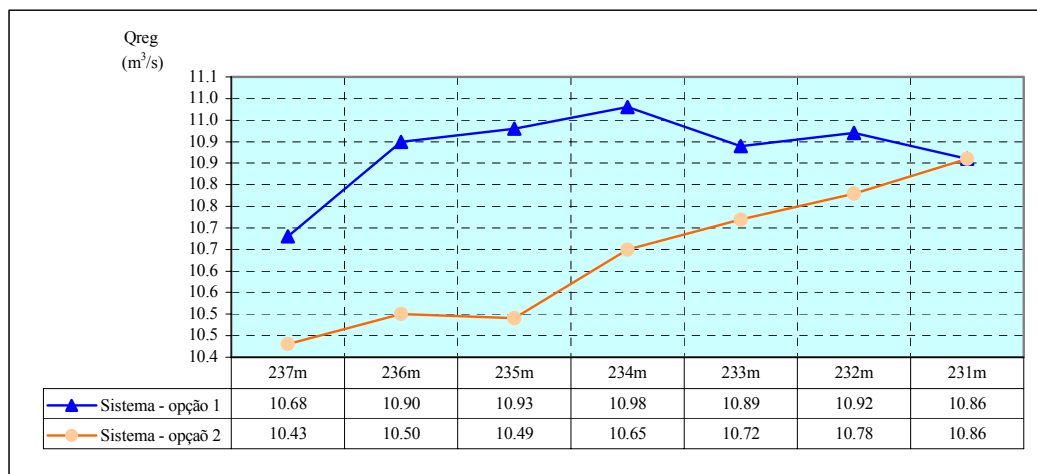


Figura 8.41 – Vazões regularizáveis por rebaixamento do canal de ligação para o sistema Coremas-Mãe D'Água.



8.1.2 – CENÁRIOS IDEALIZADOS

As análises realizadas nas seções anteriores tiveram o enfoque voltado para a caracterização da estrutura hídrica do sistema de montante e, principalmente, para a avaliação das sustentabilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, através das concepções hídricas mostradas na Figura 7.21. O enfoque dado nas seções anteriores teve o caráter mais investigativo, onde foram consideradas as condições hídricas atuais na bacia hidrográfica do sistema, ou seja, nenhuma interferência na estrutura hídrica existente. Apenas, com relação ao rebaixamento do canal de ligação entre os reservatórios, foi realizada uma avaliação em relação a alteração da estrutura hídrica interna do sistema, sem nenhuma interferência na estrutura de contribuição hídrica do referido sistema.

Nesta seção, serão analisadas as sustentabilidades hídricas desse sistema, quando submetido às alterações na estrutura hídrica atual, de ordem: física, hídrica e operacional, conforme mostrado pelo organograma da Figura 7.21, para os dois grupos de reservatórios do sistema: montante e o sistema Coremas-Mãe D'Água. Para melhor analisar o comportamento do sistema de montante, os reservatórios foram simulados considerando as seguintes intervenções:

- **De ordem física**: foram consideradas as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas e as implantações e/ou ampliações dos perímetros irrigados; e
- **De ordem operacional**: foram estabelecidos para a operação dos reservatórios: os volumes metas, as prioridades de atendimento das demandas e as cotas mínimas de operação destes.

No sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água foram analisadas as sustentabilidades hídricas para as seguintes alterações:

- **De ordem física**: o sistema como dois reservatórios interligados, com transferência mútua de água entre os mesmos;
- **De ordem hídrica**: foram considerados os padrões de afluências hídricas ao sistema: com todos os tributários contribuindo e sem considerar o tributário Piancó. As razões para a análise separada deste tributário foram apresentadas anteriormente; e

- **De ordem operacional:** foi estabelecida uma cota mínima única para a operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e também foram atribuídas cotas mínimas independentes para cada reservatório.

Para a obtenção dos objetivos definidos nesta seção, foram utilizados os modelos: ORNAP, para a otimização da alocação de água para os perímetros irrigados e suas respectivas demandas, o modelo MODSIM P32, para as simulações dos reservatórios dos sub-sistemas e tributários e suas respectivas contribuições hídricas ao sistema Coremas-Mãe D'Água e, o modelo SimCOMA, para as simulações dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, considerando-os integrados e com transferência mútua de água entre eles. As simulações foram realizadas de forma contínua para o período de 53 anos da série de vazões geradas. As vazões máximas regularizáveis do sistema, para os diversos cenários e situações estabelecidos para o estudo na Seção 7.2.2, serão analisados a seguir.

8.1.2.1 – SEM CONSIDERAR IRRIGAÇÃO A MONTANTE

Neste cenário foram realizadas simulações no sistema Coremas-Mãe D'Água, considerando as afluências dos reservatórios de montante, não considerando o suprimento das demandas de irrigação. As citadas afluências foram decorrentes dos vertimentos dos reservatórios, após suprirem as demandas de abastecimento urbano das localidades por eles atendidas, observando os volumes mínimos estabelecidos para os mesmos.

Os rendimentos hídricos do sistema, concernentes às vazões máximas regularizáveis para uma garantia de 99%, foram analisadas sob três enfoques principais:

- i. Com relação ao padrão de afluência de água ao sistema, neste caso, duas situações foram consideradas:
 - Com a participação de todos tributários, constituídos pelas áreas não controladas dos reservatórios (tributário-04) e dos vertimentos de todos os reservatórios; e
 - Não considerando os vertimentos dos reservatórios pertencentes ao tributário Piancó.

- ii. Com relação às opções de retirada de água do sistema Coremas-Mãe D'Água; foram realizadas simulações do sistema considerando as operações dos reservatórios, no tocante as retiradas de água dos mesmos, descritas na Seção 8.1.2; e
- iii. Com relação às conclusões dos reservatórios, neste caso, foram realizadas as simulações do sistema, com o uso do modelo SimCOMA, para as situações com e sem as conclusões dos reservatórios: Garra, Poço Redondo e Canoas.

Os resultados obtidos das simulações estão apresentados na Tabela 8.39 e a seguir estão apresentadas as análises destes dados, com relação aos três enfoque anteriormente relacionados.

Tabela 8.39 - Vazões regularizáveis (m³/s) pelo sistema Coremas-Mãe D'Água por cenários idealizados.

Padrão de afluência	Opção de retirada de água	Sem as conclusões dos reservatórios			Com as conclusões dos reservatórios		
		Coremas	Mãe D'Água	Total	Coremas	Mãe D'Água	Total
Com todos os tributários	1ª opção	5,00	5,43	10,43	5,00	5,20	10,20
	2ª opção	6,68	4,00	10,68	6,45	4,00	10,45
Sem o tributário Piancó*	1ª opção	5,00	4,21	9,21	5,00	4,13	9,13
	2ª opção	5,28	4,00	9,28	5,21	4,00	9,21

* Referente aos vertimentos dos reservatórios inseridos neste tributário.

8.1.2.1.1 – COM RELAÇÃO AO PADRÃO DE AFLUÊNCIA

Neste cenário, analisa-se uma questão importante do sistema estudado no que se refere a sua disponibilidade hídrica. O objetivo foi avaliar as contribuições dos sub-sistemas e tributários sobre as vazões regularizáveis do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água, principalmente da participação do tributário Piancó. A justificativa foi que, na bacia hidrográfica deste tributário, estão previstas as intervenções mais significativas em termos de recursos hídricos, tais como: implantação, reativação dos perímetros irrigados, conclusões dos reservatórios Canoas e Poço Redondo, abastecimento de várias localidades, perenização de rio, etc. Nas simulações das duas situações descritas foram também consideradas as opções de retirada de água dos reservatórios e a conclusão do reservatório Garra. Na Tabela 8.40 estão mostradas as perdas de vazão regularizável do sistema Coremas-Mãe D'Água não

considerando o tributário Piancó no padrão de afluência ao sistema, em função das opções de retiradas de água (item 3 da Seção 8.1.1.2.2) e das conclusões dos reservatórios.

Tabela 8.40 - Perdas de vazões regularizáveis do sistema não considerando o tributário Piancó no padrão de afluência.

Opção de retirada de água	Sem as conclusões dos reservatórios		Com a conclusão do reservatório Garra	
	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)
1ª opção	1,22	11,7	1,07	10,5
2ª opção	1,40	13,1	1,24	11,9

Da Tabela 8.40, duas observações importantes são analisadas:

- As perdas de vazão regularizável do sistema, sem considerar o tributário Piancó, foram mais significativas na situação sem a conclusão do reservatório Garra e na 2ª opção de retirada de mais água dos reservatórios; e
- Neste padrão de afluência, o único reservatório que participa com vertimento é o reservatório Garra, o qual foi responsável pelas perdas de 0,15 m³/s e de 0,16 m³/s, operando mais o reservatório Mãe D'Água e operando mais o reservatório Coremas, respectivamente.

A perda maior com a operação maior do reservatório Coremas, ressaltada na primeira observação, encontra justificativa no fato do tributário Piancó contribuir diretamente para este reservatório, exercendo maior influência sobre sua disponibilidade e, conseqüentemente, sobre a disponibilidade do sistema como um todo.

8.1.2.1.2 – COM RELAÇÃO ÀS OPÇÕES DE RETIRADA DE ÁGUA

Os ganhos de vazão regularizável do sistema Coremas-Mãe D'Água na 2ª opção de retirada de água em relação à 1ª opção, em função do padrão de afluência e das conclusões dos reservatórios de montante, estão mostrados na Tabela 8.41.

Tabela 8.41 – Ganho de vazão regularizável do sistema em função do padrão de afluência, das conclusões dos reservatórios de montante e das opções de retirada de água.

Padrão de afluência	Sem as conclusões dos reservatórios		Com as conclusões dos reservatórios	
	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)
Com todos tributários	0,25	2,2	0,25	2,4
Sem tributário Piancó (02)	0,07	0,8	0,08	0,9

Dos valores apresentados na Tabela 8.41, algumas considerações são feitas a seguir:

- Em todos os cenários, situações e padrões de afluência considerados, o sistema regularizou maiores vazões na 2^a opção de retirada de água, ou seja, mantendo-se uma retirada fixa de 4,0 m³/s do reservatório Mãe D'Água e operando mais o reservatório Coremas, até uma retirada máxima de 6,68 m³/s (Tabela 8.39); e
- As conclusões dos reservatórios tiveram pouca influência, apresentando percentuais de perdas praticamente iguais, nos dois padrões de afluência considerados. Entretanto, as pequenas variações de vazão regularizável no padrão de afluência sem considerar os vertimentos do Tributário (Piancó), são reflexos da conclusão do reservatório Garra, que não participa desse tributário.

8.1.2.1.3 – COM RELAÇÃO ÀS CONCLUSÕES DOS RESERVATÓRIOS

Os efeitos das conclusões dos reservatórios de montante ao sistema Coremas-Mãe D'Água serão avaliados nesta seção. As perdas de vazão regularizável do sistema, em função do padrão de afluência e das opções de operação dos reservatórios individualmente, apresentadas anteriormente, estão mostradas na Tabela 8.42.

Tabela 8.42 - Perdas de vazões regularizáveis do sistema em função padrão de afluência e das opções de operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'água.

Padrão de afluência ao sistema	Opção de retirada de água dos reservatórios	Perda de Vazão regularizável	
		(m ³ /s)	(%)
Com todos os tributários	1 ^a opção	0,23	2,2
	2 ^a opção	0,23	2,2
Sem o tributário Piancó	1 ^a opção	0,08	0,9
	2 ^a opção	0,07	0,8

Para este cenário, os dados da Tabela 8.42 revelam que:

- As perdas mais significativas quando se considerou os vertimentos dos reservatórios de montante, chegando a $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondente a 2,2% da vazão máxima regularizável do sistema;
- As perdas de vazão regularizável foram menores sem considerar os vertimentos dos reservatórios de montante. Este fato é devido às perdas por não considerar os vertimentos serem preponderantes sobre as perdas por conclusões dos reservatórios. Entretanto, o pequeno percentual de perda apresentado neste padrão de afluência se deve ao fato da conclusão do reservatório Garra não ser participante do tributário Piancó; e
- A operação dos reservatórios teve pouquíssima ou nenhuma influência sobre as perdas de vazão regularizável do sistema.

Os volumes acumulados nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, isoladamente e, no sistema total, para os cenários e situações anteriormente analisadas, estão apresentadas nos gráficos das Figuras 8.42 a 8.46.

8.1.2.2 - CONSIDERANDO A IRRIGAÇÃO DE MONTANTE

O objetivo deste cenário foi determinar e quantificar as interferências das implantações e/ou ampliações dos perímetros de montante ao sistema Coremas-Mãe D'Água, sobre suas vazões máximas regularizáveis. Inicialmente foram considerados somente os perímetros ligados diretamente aos reservatórios e, posteriormente, os perímetros ao longo das margens do rio Piancó, na parte de montante do sistema.

Para as simulações realizadas neste cenário foi utilizado o modelo MODSIM32 de forma contínua para a série de vazões geradas e, as demandas de irrigação foram obtidas do modelo ORNAP (CURI e CURI, 1999), para cada perímetro considerado.

Figura 8.42 - Volumes nos reservatórios e no sistema sem considerar o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 1a opção de retirada

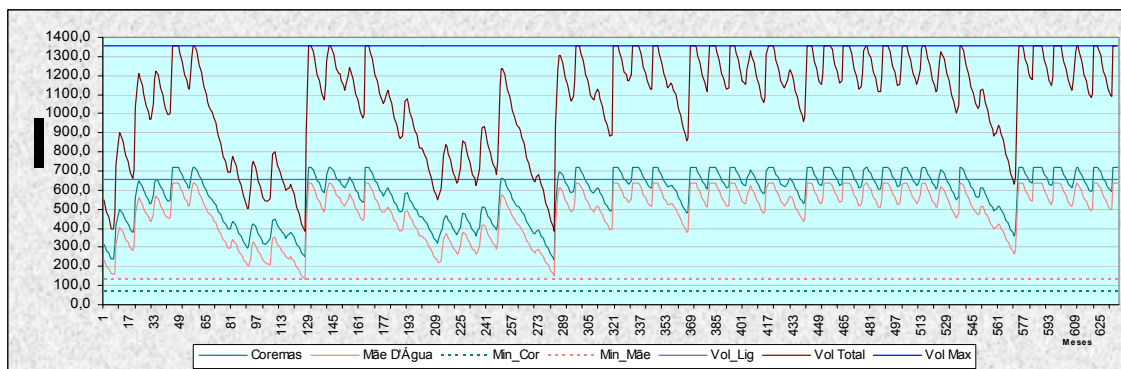


Figura 8.43 - Volumes nos reservatórios e no sistema sem considerar o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 2a opção de retirada

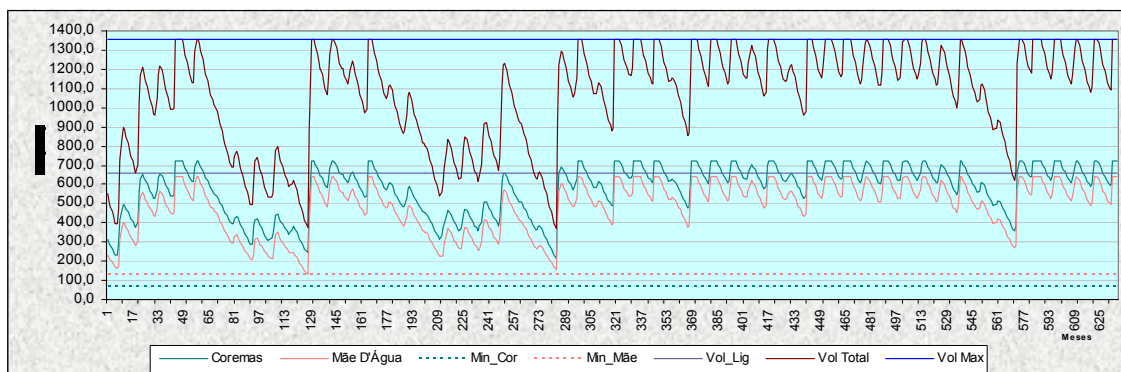


Figura 8.44 - Volumes nos reservatórios e no sistema sem o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 1a opção de retirada

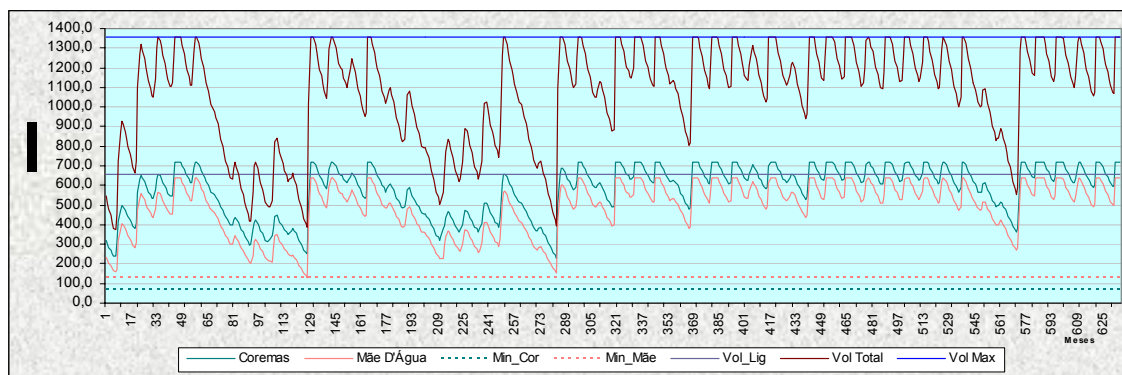


Figura 8.45 - Volumes nos reservatórios e no sistema sem o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 2a opção de retirada

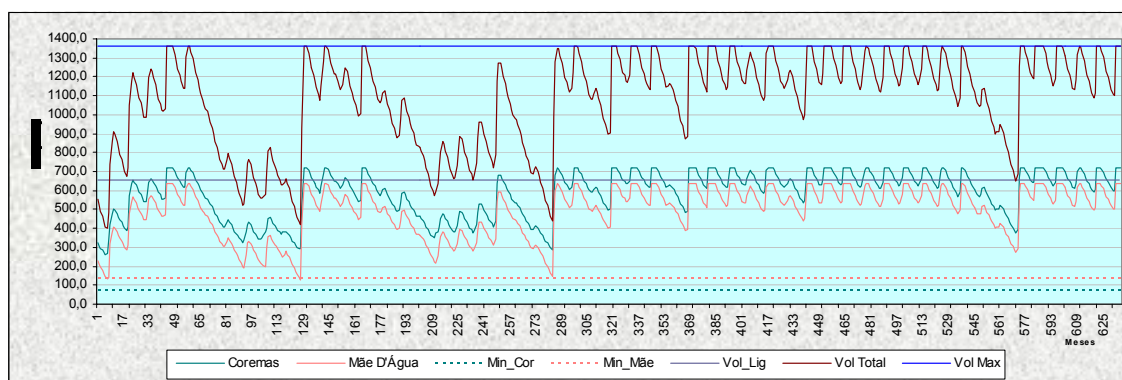


Figura 8.46 - Volumes nos reservatórios e no sistema considerando o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 1a opção de retirada

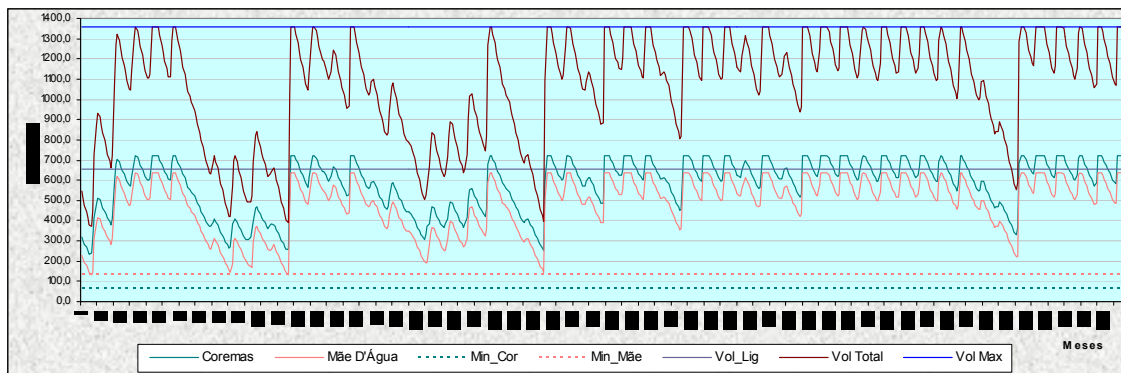


Figura 8.47 - Volumes nos reservatórios e no sistema considerando o tributário Piancó, sem as conclusões dos reservatórios e 2a opção de retirada

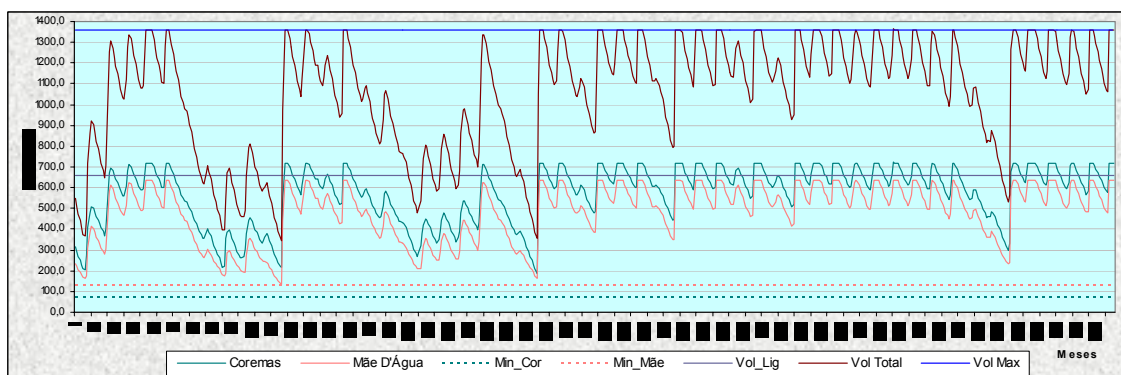


Figura 8.48 - Volumes nos reservatórios e no sistema com o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 1a opção de retirada

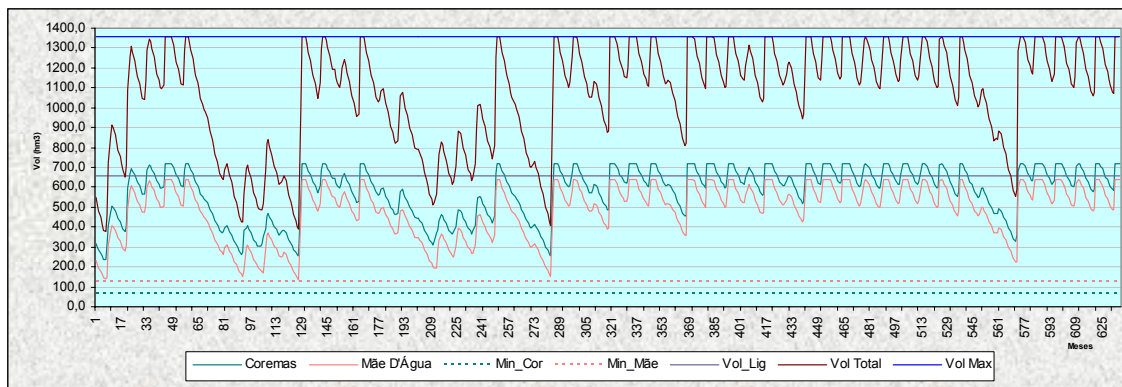
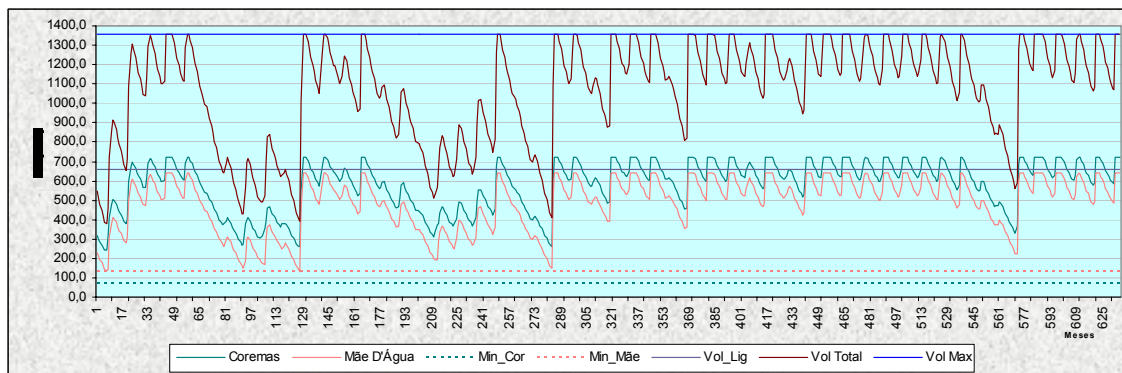


Figura 8.49 - Volumes nos reservatórios e no sistema com o tributário Piancó, com as conclusões dos reservatórios e 2a opção de retirada



8.1.2.2.1 – PERÍMETROS LIGADOS DIRETAMENTE AOS RESERVATÓRIOS

Nesta situação, foram considerados os perímetros de irrigação ligados diretamente aos reservatórios: *perímetro Poço Redondo*, com área máxima de 500 ha, alimentado pelo reservatório Poço Redondo, *perímetro Bruscas*, área de 500 ha, alimentado pelo reservatório Bruscas e *perímetro Gravatá*, com área de 934 ha, alimentado pelos reservatórios Canoas e Saco de Nova Olinda.

Para os reservatórios ainda não concluídos, Poço Redondo e Canoas, foram avaliadas a capacidades de suprimento das demandas hídricas na situação atual de seus volumes máximos, no caso, 10 hm³, para ambos os reservatórios e, para a situação de capacidades propostas, quais sejam: 49,27 hm³ para o reservatório Poço Redondo e de 36,85 hm³ para o reservatório Canoas. Foram consideradas as demandas para abastecimento (ano 2002) e de irrigação conforme apresentadas na Tabela 6.2.1, priorizando sempre o atendimento das demandas de abastecimento urbano. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.43.

Tabela 8.43 – Garantias de suprimento das demandas de abastecimento e irrigação pelos reservatórios.

Perímetro irrigado	Reservatório envolvido	Situação do reservatório	Capacidade	Garantias (%)	
			(hm ³)	Abastecimento	Irrigação
Poço Redondo	Poço Redondo	Atual	10,00	100,0	31,0
		Concluído	49,27	100,0	100,0
Bruscas	Bruscas	Atual	38,2	100,0	92,0
Gravatá	Canoas	Atual	10,0	100,0	97,0
	Saco de Nova Olinda	Atual	97,48		
	Canoas	Concluído	36,85	100,0	100,0
	Saco de Nova Olinda	Atual	97,48		

Dos valores apresentados na Tabela 8.43 pode-se fazer as seguintes análises com relação a sustentabilidade hídrica dos reservatórios para o atendimento das demandas dos perímetros irrigados:

- **Perímetro Poço Redondo**, o reservatório Poço Redondo somente atenderá as demandas de abastecimento e irrigação, com sua conclusão. Na situação atual (10 hm³), o mesmo supriria as demandas de abastecimento urbano e ainda poderia fornecer uma vazão média de 0,10 m³/s para atendimento da irrigação, com garantia apenas de 31%. Este percentual está muito inferior ao nível de garantia aceitável (90%). Para esta vazão, considerando um consumo médio de 0,46l/s.ha daria para irrigar uma área aproximada de 218 ha;

- **Perímetro Bruscas**, o reservatório Bruscas atenderá as demandas de abastecimento e irrigação com sua capacidade (38,2 hm³), fornecendo uma vazão média de 0,23 m³/s para o perímetro irrigado, com nível de garantia aceitável de 92% para tal uso; e
- **Perímetro Gravatá**, somente com a conclusão do reservatório Canoas para a capacidade de 36,48 hm³, seria possível atender as demandas de abastecimento e irrigação, considerando toda área de projeto. Na situação atual (10 hm³), esse sistema forneceria uma vazão média de 0,54 m³/s que, considerando um consumo médio de 0,41/s.ha, seria possível irrigar uma área máxima de aproximadamente de 870 ha.

8.1.2.2.2 – PERÍMETROS COM CAPTAÇÃO AO LONGO DO RIO

Neste cenário foram analisadas as sustentabilidades hídricas dos reservatórios de montante para suprimento das demandas dos perímetros situados ao longo do rio Piancó. Conforme descrito anteriormente, a maior parte das áreas dos perímetros irrigados considerados nesse estudo está localizada as margens deste rio, abrangendo 56% da área total. Os resultados apresentados a seguir foram obtidos das simulações contínuas, através do uso do modelo MODSIM P32 (LABADIE, 19984), considerando somente as demandas de irrigação dos perímetros Pianco II, III e Brotas, obtidas com o modelo ORNAP (CURI e CURI, 1999) , apresentadas na Seção 6.6.1.1.2. Para suprimento dessas demandas foram considerados os reservatórios sem perímetros ligados a eles e, também, as contribuições das áreas não controladas dos sub-sistemas do tributário Piancó. Para reservatórios que participaram do atendimento das demandas desses perímetros e que estão comprometidos com abastecimento urbano, tiveram este uso priorizado.

Na Tabela 8.44 são apresentados os valores das vazões médias fornecidas pelo tributário Piancó para os perímetros, obtidos das simulações no MODSIM P32, como também os índices de desempenho hídrico do sistema: *confiabilidade*, *vulnerabilidade e resiliência*, definidos na Seção 7.2.2.2. Na Tabela 8.45 está mostrada a distribuição dos déficits mensais para os perímetros Piancó II, III e Brotas e a Figura 8.50 mostra o gráfico das distribuições dos déficits hídricos mensais e totais para os perímetros Piancó II, Piancó III e Piancó Brotas.

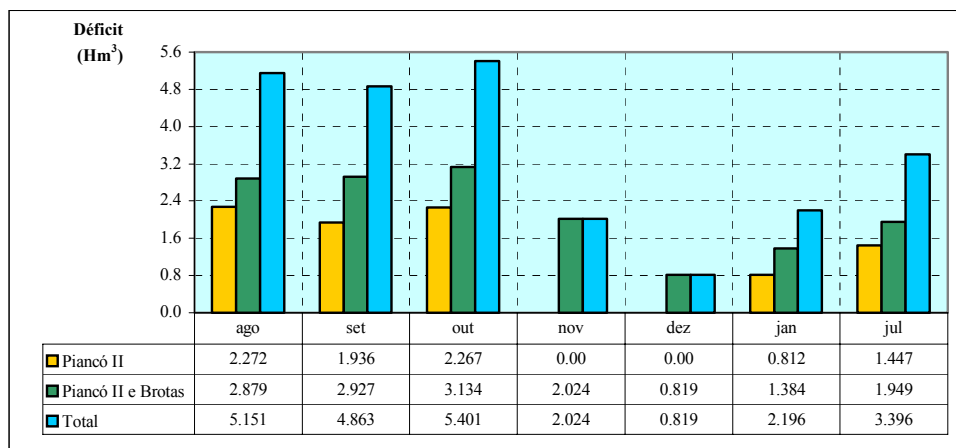
Tabela 8.44 – Dados de vazões médias fornecidas, confiabilidades, vulnerabilidades e resiliências otidos para os perímetros Piancó II, III e Brotas.

Perímetro Irrigado	Vazão média fornecida (m ³ /s)	Confiabilidade (%)	Vulnerabilidade (%)	Resiliência (%)	Máximo de meses abaixo da demanda
Piancó II	0,45	65,6	14,6	98,2	04
Piancó III e Brotas	0,52	45,6	21,2	97,4	09

Tabela 8.45 – Distribuição dos déficits hídricos mensais nos perímetros Piancó II, III e Brotas.

Perímetro Irrigado	Déficits hídrico	Meses com déficit hídrico							Valor médio	Valor total
		Ago	Set	Total	Nov	Dez	Jan	Jul		
Piancó II	(m ³ /s)	0,877	0,747	0,875	--	--	0,313	0,558	0,674	3,370
	(hm ³)	2,272	1,936	2,267	--	--	0,812	1,447	1,747	8,734
Piancó III e Brotas	(m ³ /s)	1,111	1,129	1,209	0,781	0,316	0,534	0,752	0,833	5,830
	(hm ³)	2,879	2,927	3,134	2,024	0,819	1,384	1,949	2,159	15,116
Total	(m ³ /s)	1,988	1,876	2,084	0,781	0,316	0,847	1,310	--	9,20
	(hm ³)	5,153	4,863	5,401	2,024	0,819	2,196	3,396	--	23,850

Figura 8.50 – Distribuições dos déficits hídricos mensais e totais nos perímetros Piancó II, III e Brotas.



Os resultados apresentados nas Tabelas 8.44 e 8.45 e o gráfico da Figura 8.50 conduziram as seguintes análises:

- Não existe sustentabilidade hídrica do sistema de reservatórios de montante para o suprimento das demandas hídricas, considerando a área potencial dos perímetros. O déficit hídrico total anual é de 23,850 hm³, equivalente a uma vazão total deficitária de 9,20 m³/s, quase equivalente à vazão de demanda de jusante do

sistema Coremas-Mãe D'Água, estimada em $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$, segundo o levantamento do Marco Regulatório (SEMARH, 2004); e

- O maior déficit hídrico foi observado no mês de outubro, com o valor de $5,041 \text{ hm}^3$, que corresponde a um percentual de 22,64% do déficit hídrico total.

Todos os valores dos índices apresentados na Tabela 8.44 são indicativos de que o sistema teria melhores chances de atendimento as demandas hídricas do perímetro irrigado Piancó II, com maior confiabilidade, menor vulnerabilidade e maior *resiliência*. Este último, indicando maior probabilidade de recuperação do sistema, após ocorrência de uma falha.

8.1.2.2.3-INFLUÊNCIA DAS DEMANDAS DOS PERÍMETROS SOBRE AS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA.

Outra investigação importante realizada neste estudo diz respeito a influência do atendimento das demandas de irrigação pelo uso dos reservatórios de montante e da contribuição das áreas não controladas pelos reservatórios, sobre as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água. O objetivo foi obter as perdas de vazão regularizável deste sistema, caso sejam utilizadas as vazões afluentes ao mesmo para atendimento das demandas de irrigação. Para tanto, foram realizadas simulações do sistema, utilizando o modelo SimCOMA, considerando as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas e ainda duas situações de operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, com relação às cotas mínimas destes, estabelecidas conforme descrito:

- a. **Situação 1:** cotas mínimas variáveis, individualizadas por reservatório:
 - Coremas cota mínima = 223 m (geração de energia); e
 - Mãe D'Água cota mínima = 231 m (Canal da Redenção)
- b. **Situação 2:** cota mínima única para ambos reservatórios:
 - Coremas e Mãe D'Água cota mínima = 231 m (Canal da Redenção)

Na Tabela 8.46 estão mostrados os valores obtidos para as vazões máximas regularizáveis pelo sistema e, na Tabela 8.47 estão apresentadas as perdas de vazão em

relação aos valores apresentadas na Tabela 8.39 (com as conclusões dos reservatórios), considerando as duas situações acima descritas.

Tabela 8.46 – Vazões regularizáveis pelo sistema Coremas-Mãe D'Água

Opção de operação dos reservatórios	Qreg (m ³ /s) – Situação 1			Qreg (m ³ /s) - Situação 2		
	Coremas	Mãe D'Água	Total	Coremas	Mãe D'Água	Total
1ª opção	5,00	4,57	9,57	5,00	4,57	9,57
2ª opção	6,11	4,00	10,11	5,88	4,00	9,84

Cotas mínimas:
Situação 1– Coremas = 223 m e Mãe D'Água = 231m; **Situação 2**- Coremas e Mãe D'Água = 231m

Tabela 8.47 – Perdas de vazões regularizáveis pelo sistema Coremas-Mãe D'Água

Opção de operação dos reservatórios	Perda (m ³ /s)		Perdas (%)	
	Situação 1	Situação 2	Situação 1	Situação 2
1ª opção	0,63	0,63	6,2	6,2
2ª opção	0,34	0,61	3,3	5,8

Cotas mínimas:
Situação 1– Coremas = 223 m e Mãe D'Água = 231m; **Situação 2**- Coremas e Mãe D'Água = 231m

Nas análises dos resultados apresentados nas Tabela 8.46 e 8.47, algumas considerações importantes são observadas, com relação às disponibilidades hídricas do sistema, nas duas situações estudadas:

a. **Situação 1**, duas observações são feitas:

- As irrigações de montante levaram a uma perda de vazão regularizável do sistema de 0,63 m³/s (6,2%) na 1ª opção de operação dos reservatórios, ou seja, mantendo-se uma retirada máxima de 5,0 m³/s do reservatório Coremas; e
- Na 2ª opção de operação, mantendo-se fixa a retirada máxima de 4,0 m³/s do reservatório Mãe D'Água, o sistema perdeu 0,34 m³/s (3,3%) da vazão máxima regularizável do sistema, não considerando a irrigação de montante. Esse valor foi 0,29 m³/s a menos do que na 1ª opção de operação dos reservatórios, explicada pelos limites de cotas mínimas impostas aos reservatórios.

b. **Situação 2**, duas observações são feitas:

- Na 1ª opção de operação dos reservatórios, não houve alteração em relação a situação 1. Neste caso a explicação está no fato de que, com maiores retiradas de Mãe D'Água, prevalece a cota mínima deste reservatório, ou seja, 231m, a mesma considerada para a situação 1; e
- Na 2ª opção de operação dos reservatórios, houve uma perda de 0,61 m³/s (6,2%) da vazão máxima regularizável do sistema em relação ao cenário não considerando a irrigação de montante. Neste caso, houve uma perda de 0,02 m³/s a menos do que na situação 1.

No tocante as cotas mínimas de operação dos reservatórios, duas observações podem ser comentadas, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 8.46:

2. **Em termos de perda de vazão regularizável do sistema:**

- Na adoção de cotas variadas para a operação dos reservatórios Coremas (223m) e Mãe D'Água (231m) a melhor solução apresentada é retirar mais água do reservatório Coremas, até o limite de 6,11 m³/s, mantendo-se uma retirada máxima fixa de 4,0 m³/s do reservatório Mãe D'Água; e
- Na adoção de uma única cota mínima de 231m (Canal da Redenção) para os dois reservatórios a melhor opção obtida foi retirando mais água do reservatório Mãe D'Água, até o limite de 4,57 m³/s, mantendo-se uma retirada fixa no valor máximo de 5,0 m³/s do reservatório Coremas.

2. **Em termos de valor absoluto de vazão regularizável do sistema**, em ambas as situações, a melhor opção apresentada foi operar mais o reservatório Coremas, até os limites apresentados na Tabela 8.46, para cada situação analisada.

8.1.2.3 –VAZÕES MÍNIMAS A SEREM FORNECIDAS PELO TRIBUTÁRIO PIANCÓ

Como última análise realizada do sistema na fase de Diagnóstico, foram avaliadas as vazões mínimas afluentes, fornecidas pelo tributário Piancó, de forma a garantir as demandas de jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água. A demanda total requerida desse sistema é de 9,3 m³/s, sendo: 4,0 m³/s para o *Canal da Redenção*, destinada à irrigação das Várzeas de Sousa e de 5,3 m³/s para perenização do rio Piancó e suprir todas as demandas de jusante (abastecimento, irrigação, indústria e piscicultura).

Nas análises anteriores foi observada a existência de um déficit hídrico para irrigação da ordem de 23,850 hm³. Nesta seção, o objetivo foi analisar um possível suprimento desse déficit (ou parte dele), com as afluências dos sub-sistemas do tributário Piancó nos meses com superávit hídrico e, quanto deste valor poderia ser utilizado para tal finalidade. Para tanto, duas análises foram realizadas:

- Em primeiro lugar, investigar a importância das afluências do referido tributário para o sistema Coremas-Mãe D'Água; e
- Em segundo lugar, se existir superávit hídrico, quanto deste poderá ser utilizado para a irrigação e qual seria o risco de comprometimento das disponibilidades hídricas do sistema, em relação ao suprimento das suas demandas de jusante.

8.1.2.3.1 – IMPORTÂNCIA DO TRIBUTÁRIO PIANCÓ PARA O SISTEMA

Para esta avaliação foi utilizado o modelo SimCOMA na simulação do sistema Coremas-Mãe D'Água, não considerando as afluências do tributário Piancó. Os resultados obtidos para as vazões máximas regularizáveis do sistema, em função da opção de operação e das cotas mínimas de operação dos reservatórios estão apresentados na Tabela 8.48 e, na Tabela 8.49 as perdas de vazões máximas regularizáveis do sistema..

Tabela 8.48 – Vazões regularizáveis pelo sistema sem o tributário Piancó, segundo a opção de operação e das cotas mínimas de operação dos reservatórios.

Opção de operação	Qreg (m ³ /s) – Situação 1			Qreg (m ³ /s) - Situação 2		
	Coremas	Mãe D'Água	Total	Coremas	Mãe D'Água	Total
1ª opção	1,57	4,00	5,57	1,55	4,00	5,55
2ª opção	5,00	1,36	6,36	5,00	0,53	5,53

Cotas mínimas:
Situação 1 – Coremas = 223 m e Mãe D'Água = 231m; **Situação 2** - Coremas e Mãe D'Água = 231m

Tabela 8.49 – Perdas de vazões regularizáveis pelo sistema sem o tributário Piancó, segundo a opção e das cotas mínimas de operação dos reservatórios.

Opção de operação dos reservatórios	Perda (m ³ /s)		Perdas (%)	
	Situação 1	Situação 2	Situação 1	Situação 2
1ª opção	4,63	4,65	45,4	45,6
2ª opção	4,09	4,92	39,1	47,1

Os resultados mostram nas Tabelas 8.48 e 8.49 mostraram que:

- Os percentuais de contribuição dos escoamentos diretos dos sub-sistemas do tributário Piancó variaram entre 39,1% e 47,1%, em função das cotas mínimas e da forma como foram operados os reservatórios Coremas e Mãe D'Água; e
- A menor perda de vazão regularizável do sistema, em relação ao cenário sem considerar irrigação, nas mesmas condições operacionais dos reservatórios, foi observada quando se operou mais o reservatório Coremas. Ou seja, na 2ª opção de retirada de água e com a cota mínima única para os dois reservatórios (situação 2). O valor obtido, nestas condições, foi de 4,09 m³/s, que representa uma perda percentual de 39,1%.

8.1.2.3.2 – PERCENTUAL MÍNIMO DE AFLUÊNCIA DO TRIBUTÁRIO PIANCÓ AO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Nesta seção procurou-se obter, do superávit hídrico advindo do escoamento direto dos sub-sistemas do tributário Piancó, o percentual possível de ser aproveitado para suprir o

déficit hídrico de irrigação e qual o risco associado de falha do sistema Coremas-Mãe D'Água no atendimento as demandas, estabelecidas para o referido sistema.

Para alcançar tal objetivo foram realizadas simulações no sistema, considerando as conclusões dos reservatórios, com o uso do modelo SimCOMA, operando os reservatórios Coremas e Mãe D'Água para as cotas mínimas operacionais da situação 1 (variável) e para a 2ª opção de retirada de água, ou seja, operando mais o reservatório Coremas, mantendo-se uma retirada fixa de 4,0 m³/s para o reservatório Mãe D'Água. A adoção deste cenário foi devido aos melhores rendimentos hídricos do sistema (observados em análises anteriores) e também pelo fato do tributário Piancó ser alvo desta pesquisa.

Para utilização de todo potencial hídrico superficial advindo da bacia de contribuição do tributário Piancó, o mesmo forneceria, ao sistema Coremas-Mãe D'Água, uma vazão média de 12,450 m³/s. Na Tabela 8.50 estão apresentados os valores médios mensais de vazões fornecidas ao sistema e os respectivos volumes.

Tabela 8.50 – Vazões e volumes médios mensais fornecidos pelo tributário Piancó ao sistema Coremas-Mãe D'Água.

Valor	Meses a partir do início da simulação												Total
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	
(m ³ /s)	0,008	--	--	--	0,068	0,040	5,805	33,715	64,202	34,675	10,622	2,453	151,478
(hm ³)	0,022	--	--	--	0,176	0,104	15,045	87,390	166,412	89,878	27,532	6,358	392,616

Embora a simulação tenha mostrado a existência de um superávit hídrico potencial do tributário Piancó da ordem de 392, 616 hm³, conforme mostrado na Tabela 8.50, o déficit hídrico observado para irrigação de montante, no valor de 23,850 hm³, somente poderia ser suprido com a disponibilização de parte desse potencial, a partir de intervenção na bacia de contribuição do referido tributário. Essa disponibilização poderia ser obtida, por exemplo, com a construção de novos reservatórios superficiais, reservatórios subterrâneos, etc, como forma de ativação de parte desse potencial hídrico.

Para a análise de quanto do potencial hídrico do tributário Piancó poderia ser ativado (para suprimento do déficit de irrigação), foram realizadas simulações para obtenção de vazões regularizáveis do sistema Coremas-Mãe D'Água, em função do percentual de ativação do referido potencial. Foram também analisados os índices de desempenho hídrico do sistema: *confiabilidade*, *vulnerabilidade* e *resiliência*, definidos a Seção 7.2.2.2. As vazões máximas regularizáveis pelo sistema e o número de falhas associados aos percentuais de ativação da potencialidade do tributário Piancó estão mostrados na Tabela 8.51, considerando os dados de operação do sistema na situação 1. Na Tabela 8.52, estão apresentados os índices

de desempenho hídrico do sistema, também em função do percentual de ativação da potencialidade do tributário Piancó.

As respostas para o uso do excedente hídrico do tributário Piancó e seu comprometimento sobre as disponibilidades do sistema Coremas-Mãe D'Água, mostrados na Tabela 8.52, podem ser orientadoras das ações para o uso da potencialidade deste tributário. A referida tabela mostra ainda os riscos associados com a ativação deste potencial para atendimento das demandas de irrigação do perímetro Piancó (a montante do sistema) e das demandas de jusante do mesmo.

Tabela 8.51 – Vazões regularizáveis pelo sistema Coremas-Mãe D'Água em função do percentual de ativação do potencial do tributário Piancó.

Percentual de ativação da potencialidade (%)	Vazão máxima regularizável (m ³ /s)			Vazão mínima de jusante (m ³ /s)			Número de falhas	Número de vezes com falha
	Coremas	Mãe D'Água	Total	Coremas	Mãe D'Água	Total		
50	3,53	4,00	7,52	5,30	4,00	9,30	28	07
60	3,92	4,00	7,92	5,30	4,00	9,30	19	02
80	4,68	4,00	8,68	5,30	4,00	9,30	09	02
90	4,97	4,00	8,97	5,30	4,00	9,30	05	02
95	5,10	4,00	9,10	5,30	4,00	9,30	02	02
98	5,20	4,00	9,20	5,30	4,00	9,30	01	01

Tabela 8.52 – Percentuais de ativação da potencialidade do tributário Piancó e os índices de confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência do sistema Coremas-Mãe D'Água.

Percentual de ativação para o uso em irrigação	Percentual de afluência ao sistema	Confiabilidade (%)	Vulnerabilidade (%)	Resiliência (%)
50	50	95,6	19,1	64,3
40	60	97,0	14,8	42,1
20	80	98,6	6,7	44,4
10	90	99,2	3,5	40,0
5	95	99,7	2,2	50,0
1	98	99,8	1,1	100,0

8.1.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas anteriormente foram de forma contínua, ao longo da série de vazão de 53 anos de dados gerados e, neste cenário, simularam o comportamento hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água em termos médios. As sazonalidades dos usos dos recursos hídricos e dos volumes estocados no sistema não foram refletidos nessas análises, as quais podem causar possíveis impedimentos da ativação do potencial do referido tributário, elevando os níveis de risco de falha do sistema, em relação às demandas de jusante do mesmo. O estudo apontou ainda que, para a situação hídrica existente, sem ativação da potencialidade do tributário Piancó, as perdas de receita líquida advinda da atividade de irrigação, poderão chegar a um percentual de 54% em razão da redução da área irrigada, em decorrência do déficit hídrico.

8.1.3.1 – CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DO SISTEMA

As questões relevantes na etapa de Diagnóstico tiveram como objetivo o conhecimento do comportamento hídrico do sistema em condições atuais e de possíveis intervenções na sua bacia hidrográfica. Dentre as considerações mais importantes obtidas desta etapa do estudo podem ser destacadas:

8.1.3.1.1 - COM RELAÇÃO AO SISTEMA HÍDRICO DE MONTANTE

- Os reservatórios com capacidades inferiores a 2 hm³ têm pouca ou nenhuma capacidade de regularização de vazão e apresentam alta taxa de evaporação, sendo recomendado o uso máximo das suas disponibilidades hídricas como forma de minimizar as perdas por evaporação;
- Os reservatórios acumulam, em média, uma vez e meia os volumes afluentes anuais nas suas respectivas bacias de contribuição;
- Com relação aos rendimentos hídricos dos reservatórios, ou seja, vazão máxima regularizável versus capacidade, o sistema apresentou um índice médio de 13,2%, para uma garantia de 99%;

- Os reservatórios de porte médio foram os mais representativos do sistema, detendo 63,7% do volume total acumulado, 65,5% dos volumes médios afluentes nas bacias de contribuição dos reservatórios e 68,4% do total da vazão regularizável do sistema;
- O índice relacionado com a capacidade do reservatório versus o volume médio afluente anual, em média, os grandes reservatórios apresentaram melhor aproveitamento hídrico dos volumes afluentes nas suas bacias de contribuição;
- O índice relacionado com a evaporação versus capacidade do reservatório, decresceu com o aumento da classe de capacidade do reservatório, ou seja, pequenos reservatórios apresentaram maiores taxas de perdas por evaporação; e
- O rendimento hídrico médio apresentou pequena variação entre as classes de capacidade dos reservatórios, sendo um pouco superior nos pequenos reservatórios, com valor de 13,3% contra 11,4% para os grandes reservatórios.

8.1.3.1.2 - COM RELAÇÃO AO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA

- A capacidade de armazenamento do reservatório Coremas apresentou um percentual de 38,6% menor do que a média obtida para os reservatórios de montante;
- O sistema apresentou um percentual de 50% menor da perda por evaporação do que a média dos reservatórios de montante, confirmando menor taxa de perdas por evaporação para as classes de capacidades maiores dos reservatórios da região;
- O maior rendimento hídrico foi observado para o reservatório Coremas, em relação ao reservatório Mãe D'Água, com um valor de duas vezes e meio superior a média encontrada para os reservatórios de montante;
- As disponibilidades hídricas do sistema se mostraram altamente dependentes da concepção hídrica do sistema, da operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e também da operação dos reservatórios de montante, com variação de até 1,76 m³/s na sua vazão máxima regularizável;

- O aumento das disponibilidades do sistema através do rebaixamento do canal de ligação entre os reservatórios, apresentou um valor máximo de $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ para o rebaixamento de 3,0 m, a partir da cota atual, com o valor da final na cota 234 m;
- Com relação ao padrão de afluência ao sistema, as perdas de vazão regularizável podem chegar ao valor de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$, sem considerar as contribuições dos vertimentos dos reservatórios do tributário Piancó;
- Com relação às opções de retirada de água dos reservatórios, o sistema apresentou melhor desempenho hídrico quando se operou mais o reservatório Coremas, para uma retirada máxima de $6,68 \text{ m}^3/\text{s}$, mantendo-se uma retirada fixa máxima de $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ do reservatório Mãe D'Água;
- Com relação às conclusões dos reservatórios Poço Redondo, Canoas e Garra, as perdas de vazão regularizável poderiam chegar ao valor máximo de $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$; e
- Considerando as irrigações de montante do sistema, as perdas de vazão regularizável poderiam chegar ao valor máximo de $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$, que representaria 6,2%, dependendo da operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água.

8.1.3.2 – ATENDIMENTO AS DEMANDAS

8.1.3.2.1 - SISTEMA DE MONTANTE

A - Abastecimento Urbano

Somente os reservatórios Catolé e Jatobá II apresentaram probabilidades de falhas no atendimento as demandas urbanas dos municípios Manaíra e Princesa Isabel. Para tais municípios, recomenda-se a adoção de níveis de alerta para esses reservatórios, onde a partir dos quais, apenas uma parcela da demanda seria fornecida, com por exemplo 50%.

B - Irrigação

B1 - Perímetros ligados diretamente dos reservatórios

- O reservatório Poço Redondo somente atenderá as demandas de abastecimento e irrigação, com sua conclusão;
- O reservatório Bruscas atende as demandas hídricas de irrigação com sua capacidade atual; e
- Somente será possível atender as demandas hídricas da área total com a conclusão do reservatório Canoas

B2 - Perímetros ao longo do rio Piancó

Para os perímetros Piancó II, Piancó III e Piancó Brotas foi observado um déficit hídrico de aproximadamente 24 milhões de metros cúbicos

8.1.3.2.2 – SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Os estudos realizados na Etapa de Diagnóstico mostraram que as disponibilidades hídricas do sistema e, conseqüentemente o atendimento das demandas de jusante, estão condicionados:

- A Concepção hídrica do sistema Coremas_ Mãe D'Água;
- A operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água;
- A operação dos reservatórios de montante; e
- Ao uso das águas afluentes aos reservatórios, em especial, do tributário Piancó.

Diante desta constatação, é inevitável a adoção de uma política de uso negociado das disponibilidades hídricas do sistema, visando a compatibilização entre as demandas de montante e jusante, sob pena de um possível colapso hídrico do referido sistema, quando submetido a retirada da demanda total de jusante. O uso do conceito de vazão regularizável como parâmetro para operação do sistema, com vista à definição de um planejamento de uso

das disponibilidades hídricas em sistemas complexos, como é o caso estudado, não é indicado.

As ações para o uso desse potencial, os riscos associados e as propostas para melhor uso dos recursos hídricos deste sistema, visando a compatibilização entre as demandas de montante e de jusante, passam a ser avaliadas segundo a definição de cenários e situações operacionais que foram definidas na Seção 7.3. Estas avaliações serão objeto da segunda etapa deste estudo, definida como *Planejamento*, apresentada na seção seguinte.

8.2 - ETAPA DE PLANEJAMENTO

8.2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como observado na etapa de Diagnóstico, o conceito de vazão regularizável, no caso estudado, não seria um parâmetro para definição de políticas operacionais para os reservatórios do sistema estudado. Diante desta constatação, nesta etapa de Planejamento, o trabalho buscou analisar as respostas hídricas do sistema para os cenários e situações idealizados, conforme apresentados na Seção 7.3 e, a partir de então, elaborar uma proposta para a política operacional de utilização dos recursos hídricos do sistema estudado. Para tal objetivo, foi adotado uma política de zoneamento múltiplo de níveis dos reservatórios envolvidos no sistema, que consistiu na definição de três zonas de armazenamento dos reservatórios, denominados *estados hidrológicos*. Para cada reservatório foi associado um critério de liberação de água, através da adoção de prioridades de atendimento, em função dos volumes metas estabelecidos para os mesmos.

Embora o foco principal desta etapa seja o comportamento hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água e seu atendimento as demandas de jusante, faz-se nesta seção, primeiramente uma análise no sistema de montante, buscando avaliar as sustentabilidades hídricas dos reservatórios no atendimento das demandas ligadas diretamente a estes e suas contribuições para o referido sistema, no horizonte estabelecido para a etapa de planejamento.

Para análise de tal sistema foram considerados apenas os reservatórios componentes do tributário Piancó, visto que, neste estão as intervenções de ordem física, hídricas e operacionais estabelecidas para a análise desta pesquisa. No segundo momento, dedicou-se a pesquisa a análise das respostas do sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água para os

cenários e situações apresentados na Figura 7.22, onde se buscou uma compatibilização para no atendimento das demandas de montante e jusante do referido sistema.

Em ambos os casos, o sistema (montante e Coremas-Mãe D'Água), foi utilizado o modelo MODSIM P32 na opção de simulação, *Planejamento Tático* e na opção de cálculos, *Estados Hidrológicos*, para o horizonte de planejamento de dois anos. Os sistemas foram analisados sob os aspectos hídricos e também de atendimento as demandas, através da avaliação dos indicadores definidos para esta etapa do estudo: curva de permanência, probabilidade de volumes finais nos reservatórios maiores ou iguais aos seus volumes iniciais e as curvas de probabilidade dos reservatórios atingirem seus volumes mínimos, conforma apresentado na Seção 7.2.2.2.

8.2.2 – ANÁLISE DO SISTEMA DE MONTANTE

Nesta análise, o sistema de montante teve dois aspectos enfocados. O primeiro diz respeito aos reservatórios de montante (considerando apenas aqueles pertencentes ao tributário Piancó), segundo o grupo de uso da água que está inserido, conforme definido na Seção 7.3.1. O segundo aspecto analisado, diz respeito às demandas de montante: demandas urbanas e de irrigação. As análises desses aspectos foram realizadas com base na avaliação dos indicadores definidos na Seção 7.3.2 e também na análise do confronto dos dois aspectos, ou seja, disponibilidades dos reservatórios versus as demandas hídricas de abastecimento, piscicultura e irrigação.

8.2.2.1 – OS RESERVATÓRIOS POR GRUPO DE USO DA ÁGUA

Para as simulações dos 15 reservatórios do tributário Piancó foram considerados os zoneamentos hidrológicos por grupo de uso da água, definidos na Seção 7.3.1.1, considerando os volumes iniciais nesses reservatório iguais a 60% das suas respectivas capacidades. Nesta etapa do estudo foram consideradas as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas para as capacidades descritas na Seção 8.1.2.2.1. Para as simulações dos reservatórios foi utilizado o modelo MODSIM P32, para o horizonte de planejamento de dois anos, analisando as respostas hídricas dos mesmos, através da avaliação dos indicadores *i*, *ii*, e *iii*, definidos na Seção 7.3.2, obtidos do próprio modelo.

8.2.2.1.1 - CURVAS DE PERMANÊNCIA DOS VOLUMES NOS RESERVATÓRIOS

A seguir serão apresentadas e analisadas as curvas de permanência dos reservatórios segundo os grupos de uso da água para o final do mês de julho no 1º e no 2º ano do horizonte de planejamento adotado no estudo.

A - RESERVATÓRIOS SEM ABASTECIMENTO

Este grupo de reservatórios foi operado de forma a dar reforço ao suprimento de água para as demandas de irrigação ao longo do leito do rio Piancó, ou seja, para os perímetros Piancó II, III e Brotas. Para as atribuições de prioridades estabelecidas para tal grupo, nas duas primeiras zonas hidrológicas, os reservatórios atenderiam as demandas de irrigação, somente restringindo o fornecimento de água, na *zona seca*, ou seja, quando os volumes nos reservatórios forem inferiores ou iguais a 10% das respectivas capacidades, *volumes metas* estabelecidos para esta classe de uso. As curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-01, no final do mês de julho, para o 1ª e 2ª anos do planejamento, estão apresentadas nas Figuras 8.51 e 8.52, respectivamente. Dos resultados das respectivas figuras, pode-se fazer as seguintes análises:

- Para o 1º ano horizonte de planejamento, o reservatório Santa Inês apresentou maiores probabilidades de chegar, ao final do período com volumes superiores, do que no 2º ano de planejamento;
- Para o 2º ano do horizonte de planejamento, o referido reservatório somente apresentou volumes finais superiores do que no 1º ano, na faixa de probabilidade entre 10% e 70%; e
- Para probabilidade de ocorrência de um certo volume nos reservatórios superior a 70%, o reservatório Tavares apresentou maiores volumes acumulados.

B - RESERVATÓRIOS COM SOMENTE ABASTECIMENTO

Para a operação desses reservatórios foi atribuída a prioridade igual a um para o abastecimento em todas as zonas de armazenamento (estados hidrológicos). Para essa atribuição de prioridades, o reservatório será operado para atender as demandas de

abastecimento em todos os estados hidrológicos. No caso do reservatório atingir o volume inferior ao *volume meta*, estabelecida em 25% da sua capacidade, sugere-se que seja reduzida a demanda hídrica para somente um percentual do valor para operação do reservatório no estado hidrológico seco. A finalidade é garantir que o reservatório não entre em colapso hídrico durante os períodos hidrológicos críticos da região. As curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-02, no final do mês de julho, para o 1º e 2º anos do horizonte de planejamento, estão apresentadas nas Figuras 8.53 e 8.54, respectivamente. Os resultados mostraram que o reservatório Piranhas, para qualquer nível de garantia, apresentou maiores volumes finais que os demais reservatórios deste grupo, nos dois anos do horizonte de planejamento, ao final de julho.

Figura 8.51 - Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-01 no mês de julho no 1º ano do horizonte de planejamento.

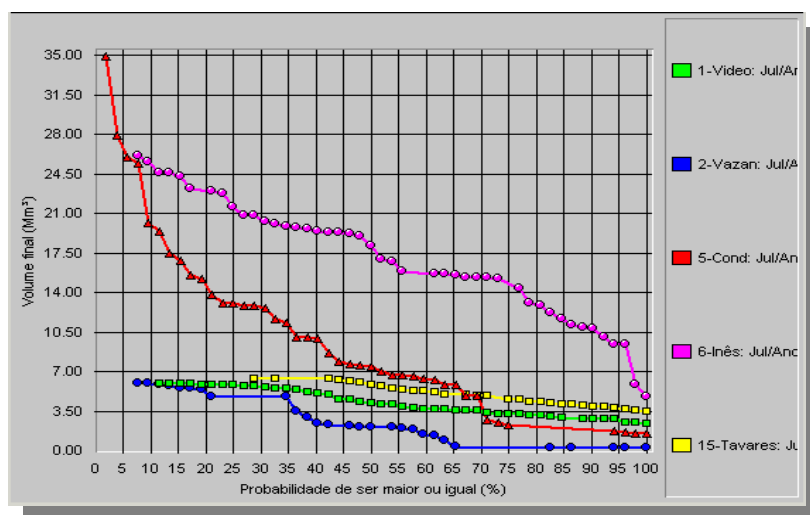
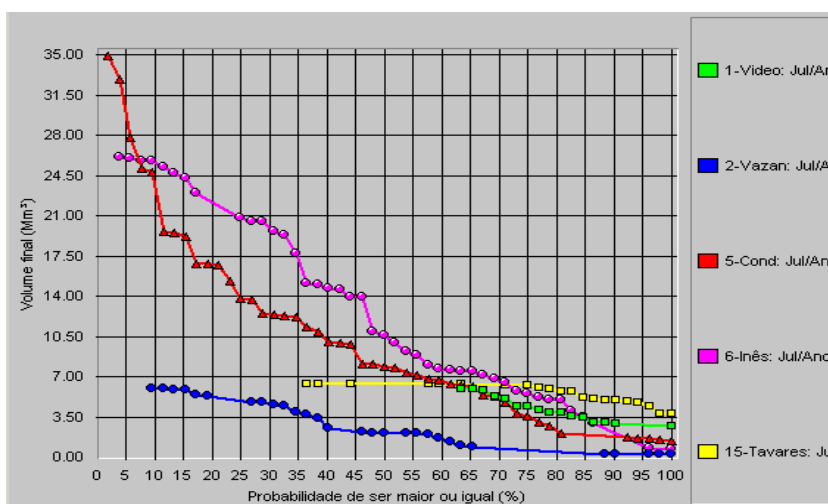


Figura 8.52 - Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-01 no mês de julho, no 2º ano do horizonte de planejamento.



C - RESERVATÓRIOS COM ABASTECIMENTO E IRRIGAÇÃO

Para a operação desses reservatórios foi também atribuída a prioridade igual a um para o abastecimento em todas as zonas de armazenamento (estados hidrológicos). Para essa atribuição de prioridades, o reservatório será operado para atender as demandas de abastecimento em todos os estados hidrológicos. No caso do reservatório atingir o volume inferior ao *volume meta* (25% da sua capacidade), seria estabelecida a mesma redução nas demandas hídricas de abastecimento, para operação do reservatório no *estado hidrológico seco*.

Figura 8.53 - Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-02 no mês de julho para o 1º ano do horizonte de planejamento.

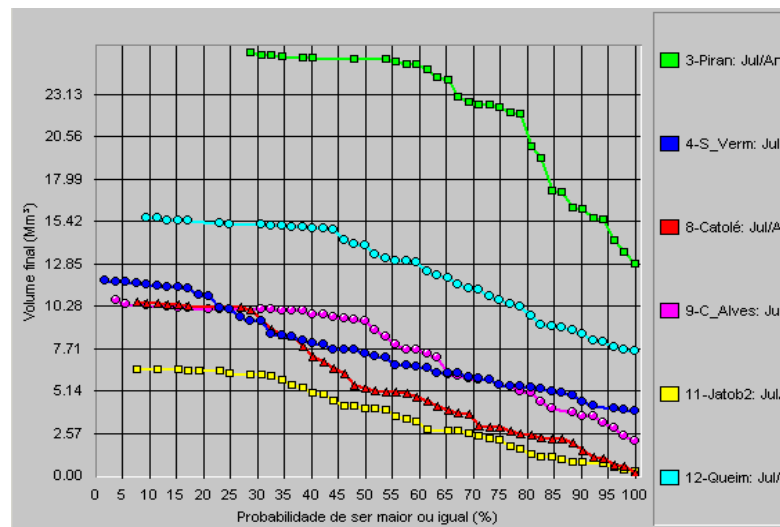
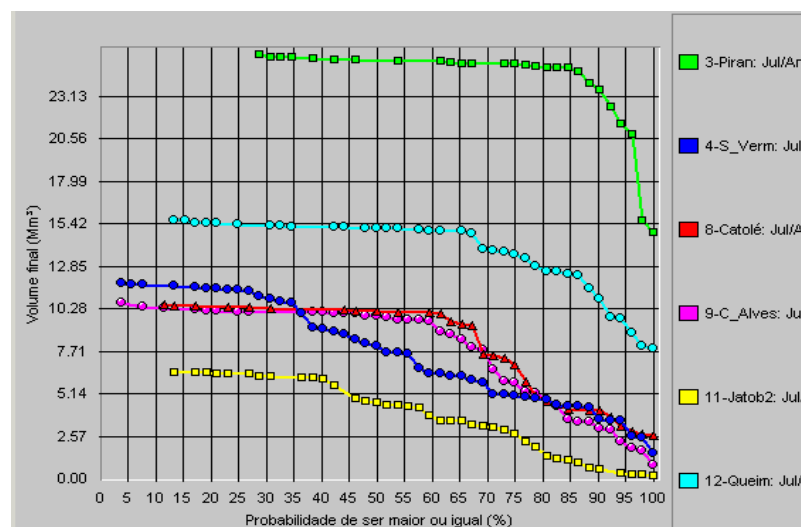


Figura 8.54 - Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-02 no mês de julho para o 2º ano do horizonte de planejamento



Para suprimento das demandas de irrigação foi imposta a restrição do reservatório não fornecer água no *estado seco*, ou seja, para o volume menor ou igual a 25% da sua capacidade. As finalidades desses dois procedimentos foram: garantir a prioridade de uso para o abastecimento e preservar o reservatório de um possível colapso hídrico durante os períodos hidrológicos críticos da região. As curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-03, no final do mês de julho, para o 1º e 2º anos do planejamento, estão apresentadas nas Figuras 8.55 e 8.56, respectivamente.

Figura 8.55 - Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-03 no mês de julho para o 1º ano do horizonte de planejamento

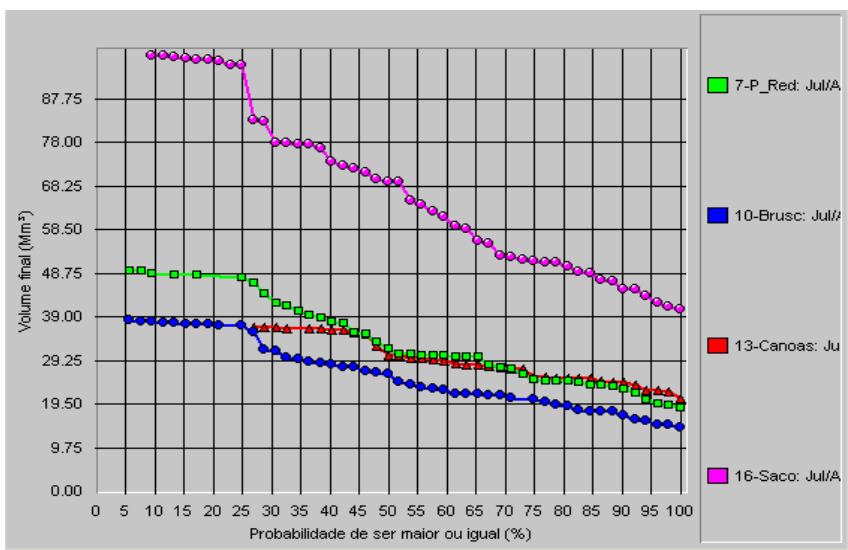
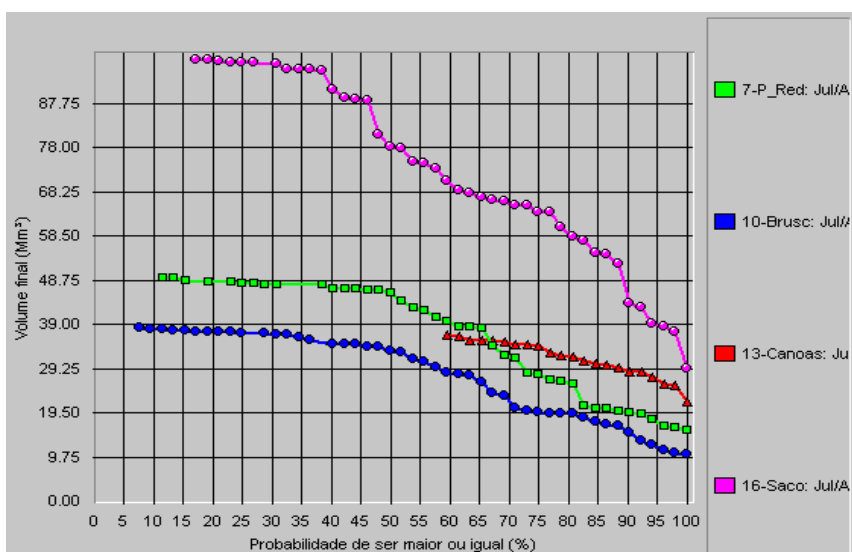


Figura 8.56 - Curvas de permanência dos volumes nos reservatórios do Grupo-03 no mês de julho para o 2º ano do horizonte de planejamento



Os resultados apresentados nas Figuras 8.55 e 8.56 mostraram que o reservatório Saco de Nova Olinda, para qualquer nível de garantia, apresentou maiores volumes finais que os demais reservatórios deste grupo, nos dois anos do horizonte de planejamento, ao final do mês de julho.

8.2.2.1.2 - PROBABILIDADES DOS VOLUMES FINAIS SEREM SUPERIORES OU IGUAIS AOS VOLUMES INICIAIS

Como o volume inicial do reservatório é um parâmetro importante no desempenho hídrico do mesmo, em horizontes curtos de simulação, como é o caso do período adotado pelo estudo para a etapa de planejamento (dois anos), analisou-se as probabilidades dos volumes finais dos reservatórios chegarem, no final do período de planejamento, com valores iguais ou superiores aos seus volumes iniciais. Esta avaliação é importante visto que, as análises dos indicadores de sustentabilidade hídrica tiveram como base às respostas hídricas dos reservatórios, considerando as condições de volumes iniciais dos mesmos. Então, a obtenção desses percentuais de probabilidades, a princípio, daria ao tomador de decisão, as chances de repetição das mesmas respostas hídricas dos reservatórios, considerando as mesmas condições de zoneamento, prioridades e volumes mínimos dos reservatórios, ou seja, mesma política operacional e ainda, mais importante, considerando a mesma série hidrológica de vazões utilizada nas simulações.

A - RESERVATÓRIOS SEM ABASTECIMENTO

Os resultados obtidos das simulações para os percentuais de probabilidades mensais dos reservatórios deste grupo estarem com volumes finais superiores ou iguais ao volumes iniciais, estão apresentados para cada ano do horizonte planejamento e por reservatório, na Tabela 8.53. Nas Figuras 8.57 e 8.58 estão as curvas de probabilidades para o 1º e 2º anos do horizonte de planejamento para todos os reservatórios, respectivamente.

Dos resultados apresentados na Tabela 8.53 e nas Figuras 8.57 e 8.58 pode-se fazer as seguintes análises para esse grupo de reservatórios:

1. No 1º ano de planejamento:

- Os reservatórios que apresentaram maiores chances de terem seus volumes, ao final do mês de julho, iguais ou superiores aos seus volumes iniciais, foram: Tavares (88,5%), Vazante (96,2%), Santa Inês (73,1%) e Vídeo (69,2%);

Tabela 8.53 – Probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais ao volumes iniciais para os reservatórios sem abastecimento.

Reservatórios (Grupo-01)	ano	Percentual mensal (%)											
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Video	1º	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	5,8	26,9	57,7	63,5	69,2	69,2
	2º	59,6	53,8	53,8	48,0	46,2	46,2	46,2	61,5	78,9	80,8	80,8	80,8
Vazante	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	9,6	21,1	32,7	32,7	34,6
	2º	94,6	36,5	36,5	36,5	36,5	38,5	38,5	50,0	57,7	69,2	69,2	71,2
Condado	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	7,7	7,7	7,7
	2º	7,7	7,7	3,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	9,6	9,6	9,6
Santa Inês	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	26,9	71,2	71,2	71,2	73,1
	2º	59,6	46,2	30,8	25,0	21,2	17,3	19,2	28,8	32,7	36,5	36,5	36,5
Tavares	1º	2,0	2,0	0,0	0,0	3,9	7,7	21,2	65,4	90,4	92,4	92,3	88,5
	2º	88,5	86,5	76,9	76,9	71,2	67,3	71,1	80,1	90,3	90,3	90,3	90,3

Figura 8.57 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-01, no 1º ano do horizonte de simulação.

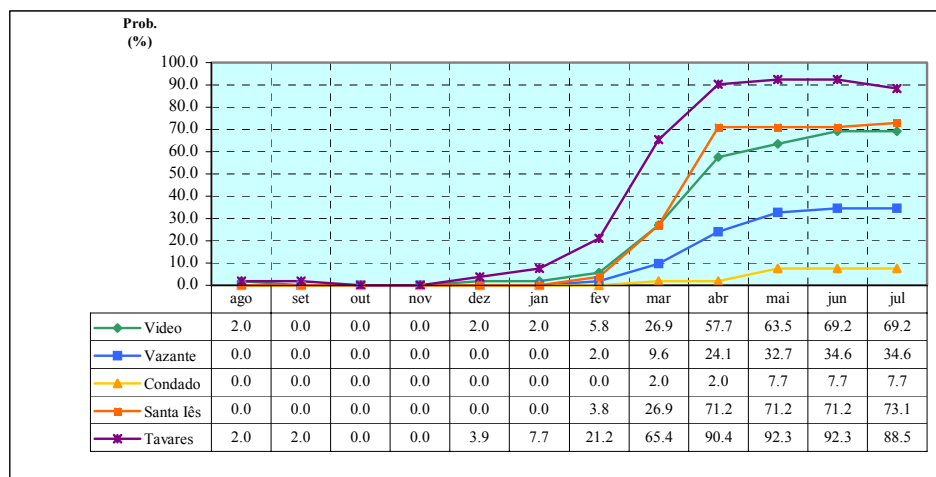
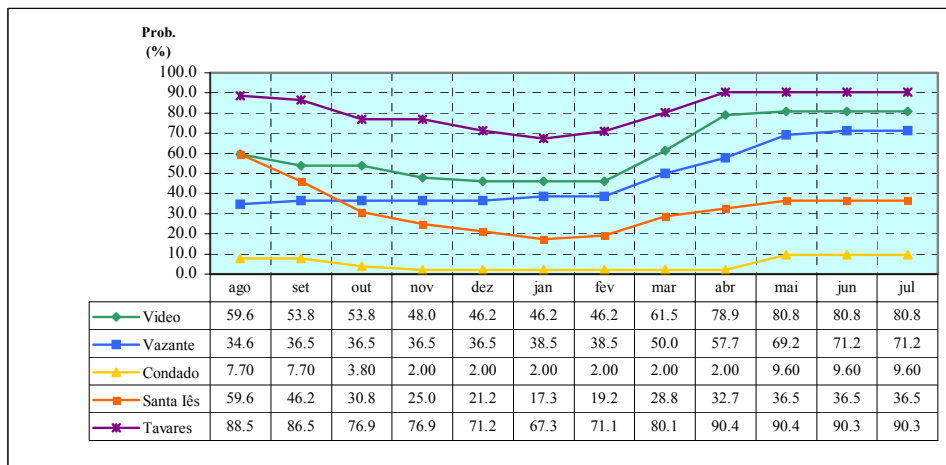


Figura 8.58 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-01, no 2º ano de horizonte de simulação.



- O reservatório Condado apresentou a menor probabilidade, com um valor de apenas 7,7% de chance.
2. No 2º ano de planejamento:
- Todos os reservatórios, com exceção de Santa Inês, tiveram maiores probabilidades de estarem com seus volumes finais iguais ou superiores aos volumes iniciais;
 - O reservatório Condado, apesar de ter aumentado sua chance, ainda assim apresentou probabilidade baixa em relação aos outros reservatórios, com um valor de 9,6%.

Na análise final desse grupo, pode-se dizer com relação as sustentabilidades dos reservatórios:

1. Nenhum reservatório apresentou garantia de 100% de ter seu volume final igual ou superior ao seu volume inicial, no 1º ano do horizonte de planejamento; e
2. As chances, com exceção do reservatório Santa Inês, aumentaram com o aumento no horizonte de planejamento, ou seja, foram maiores no 2º ano de planejamento. Este comportamento pode caracterizar, para os intervalos de tempo considerados, uma transferência inter-anual de água, ou seja, água não utilizada em um ano poderá estar disponível para uso no próximo ano.

B - RESERVATÓRIOS COM SOMENTE ABASTECIMENTO

Os resultados obtidos das simulações para os percentuais de probabilidades mensais dos reservatórios deste grupo estarem com volumes finais superiores ou iguais ao volumes iniciais, estão apresentados para cada ano do horizonte planejamento e por reservatório, na Tabela 8.24. Nas Figuras 8.59 e 8.60 estão as curvas de probabilidades para o 1º e 2º anos do horizonte de planejamento para todos os reservatórios, respectivamente.

Dos resultados apresentados na Tabela 8.54 e nas Figuras 8.59 e 8.60 pode-se fazer as seguintes análises para esse grupo de reservatórios:

- Os reservatórios que apresentaram maiores chances de terem seus volumes ao final do mês de julho superiores ou iguais aos volumes iniciais, no 1º ano de planejamento foram: Piranhas (94,2%), Queimadas (80,8%) e Cachoeira dos Alves (63,5%);
- Todos reservatórios apresentaram maiores probabilidades no 2º ano de planejamento, tendo o reservatório Catolé alcançado o percentual de 100% de probabilidade;
- Nenhum reservatório apresentou volume final maior ou igual a volume inicial com garantia de 100% ao final do 1º ano de planejamento; e
- As chances dos volumes finais serem maiores ou iguais dos reservatórios aumentaram com o aumento no horizonte de planejamento, ou seja, foram maiores no 2º ano de planejamento. Como dito anteriormente, este comportamento pode caracterizar, para os intervalos de tempo considerados, uma transferência inter-anual de água.

Tabela 8.54 – Probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais ao volumes iniciais para os reservatórios com somente abastecimento.

Reservatórios (Grupo-02)	ano	Percentual mensal (%)											
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
C. dos Alves	1º	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	7,7	34,6	63,5	67,3	65,4	63,5
	2º	63,5	59,6	53,9	51,9	50,0	40,4	34,6	59,6	75,0	75,0	71,1	71,1
Piranhas	1º	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	15,4	69,2	92,3	94,2	94,2	94,2
	2º	90,4	88,5	86,5	86,5	82,7	82,3	82,7	92,3	98,1	98,1	98,1	98,1
S. Vermelha I	1º	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	3,8	17,3	46,2	55,8	53,8	53,8
	2º	48,1	42,3	34,6	30,8	30,8	28,9	32,7	42,3	51,9	55,8	55,8	55,8
Catolé	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	19,2	42,3	50,0	51,9	53,8
	2º	90,4	88,5	86,5	80,8	76,9	78,8	82,7	86,5	100,0	100,0	100,0	100,0
Jatobá 2	1º	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	19,2	42,3	50,0	51,9	53,8
	2º	46,2	42,3	38,5	34,6	25,0	3,8	7,7	26,9	55,8	61,5	61,5	57,7
Queimadas	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	7,7	44,2	75,0	86,5	82,7	80,8
	2º	78,8	78,8	75,0	71,1	69,2	69,2	71,1	80,8	86,5	94,2	94,2	94,2

Figura 8.59 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-02, no 1º ano do horizonte de planejamento.

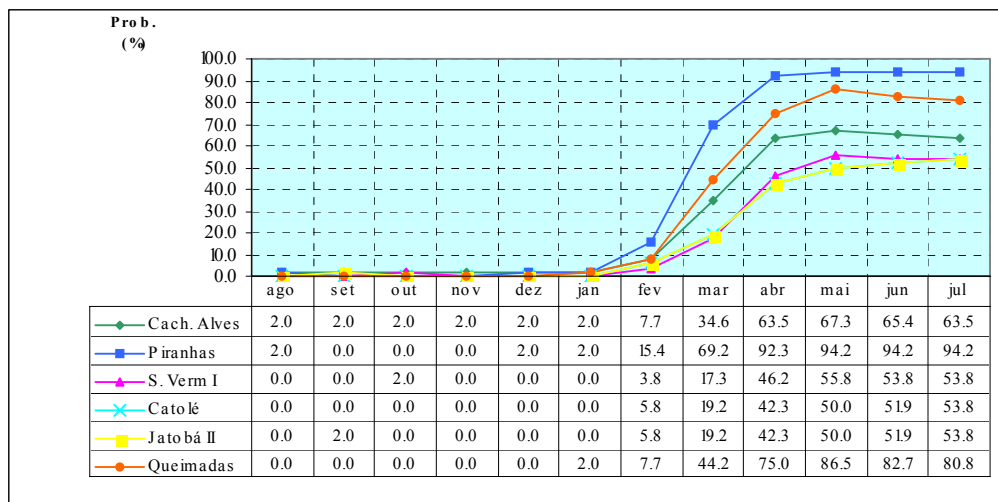
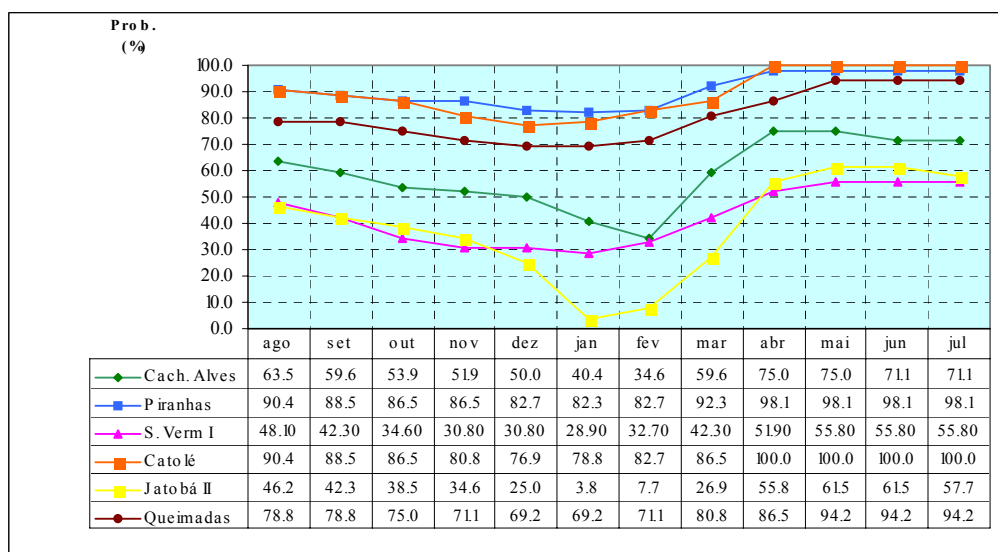


Figura 8.60 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-02, no 2º ano de horizonte de planejamento.



C - RESERVATÓRIOS COM ABASTECIMENTO E IRRIGAÇÃO

Os resultados obtidos das simulações para os percentuais de probabilidades mensais dos reservatórios deste grupo estarem com volumes finais superiores ou iguais aos volumes iniciais, estão apresentados para cada ano do horizonte planejamento e por reservatório, na Tabela 8.55.

Nas Figuras 8.61 e 8.62 estão as curvas de probabilidades para o 1º e 2º anos do horizonte de planejamento para todos os reservatórios, respectivamente. Dos resultados

apresentados na Tabela 8.55 e nas Figuras 8.61 e 8.62 pode-se fazer as seguintes análises para esse grupo de reservatórios:

- O reservatório que apresentou maior chance de ter seu volume, ao final do mês de julho superior ou igual ao inicial, no 1º ano de planejamento, foi o reservatório Canoas, com um percentual de 98,1%;
- O restante dos reservatórios desse grupo apresentou percentuais entre 58% e 65%;
- Nenhum reservatório apresentou sustentabilidade hídrica garantia de 100% ao final do 1º ano de planejamento; e
- As chances de sustentabilidade hídrica dos reservatórios aumentaram com o aumento no horizonte de planejamento, ou seja, foram maiores no 2º ano de planejamento.

Tabela 8.55 – Probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais ao volumes iniciais para os reservatórios com abastecimento e irrigação.

Reservatórios (Grupo-02)	ano	Percentual mensal (%)											
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Bruscas	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	23,1	48,1	61,5	59,6	57,8
	2º	51,9	50,0	44,2	36,5	36,5	36,5	36,5	50,0	67,3	69,2	69,2	69,2
Saco N. Olinda	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	5,8	21,2	48,1	59,6	63,5	61,5
	2º	59,6	53,8	51,9	46,2	46,2	44,2	44,2	55,8	73,1	76,9	80,8	80,8
Canoas	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	19,2	69,2	94,2	98,1	98,1	98,1
	2º	98,1	98,1	98,1	98,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
P. Redondo	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	23,1	53,9	65,4	65,4	65,4
	2º	50,0	48,1	46,2	42,3	42,3	40,4	43,3	51,9	69,2	73,1	73,1	71,1

8.2.2.1.3 - PROBABILIDADE DOS RESERVATÓRIOS ATINGIREM SEUS VOLUMES MÍNIMOS

Na análise deste índice, procurou-se determinar as chances dos reservatórios de montante do sistema Coremas-Mãe D'Água atingirem seu volumes mínimos estabelecidos como volumes metas, correspondente ao estado hidrológico seco, definido para cada reservatório no capítulo anterior. Os resultados serão apresentados e analisados a seguir, por grupo reservatórios e em função do uso de seus recursos hídricos.

Figura 8.61 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-03, no 1º ano de horizonte de planejamento.

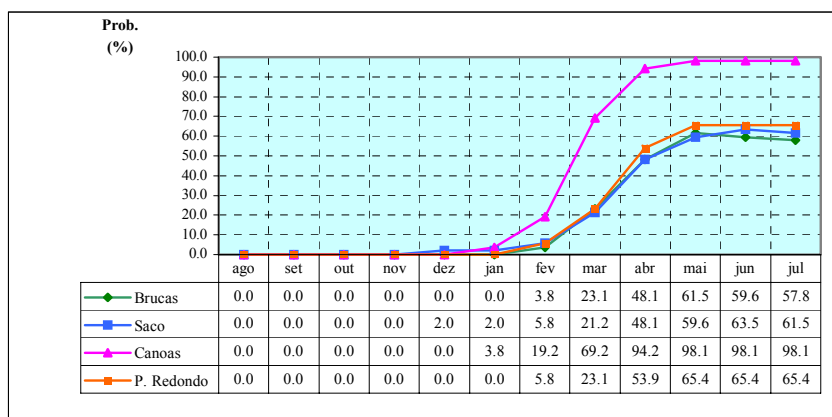
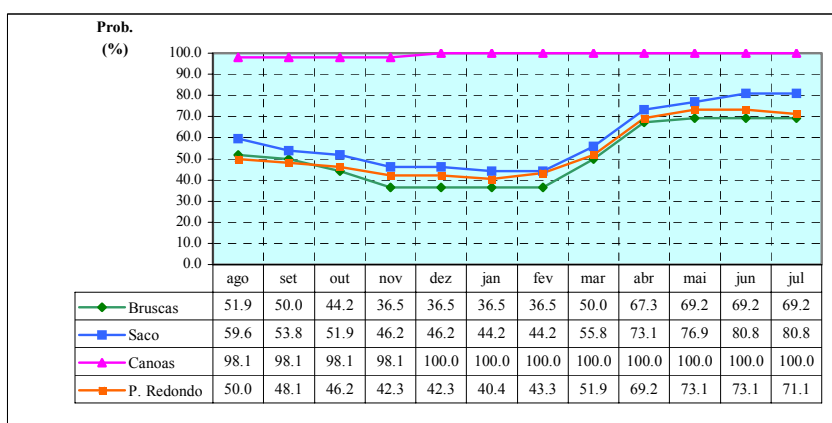


Figura 8.62 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial – Grupo-03, no 2º ano de horizonte de planejamento.



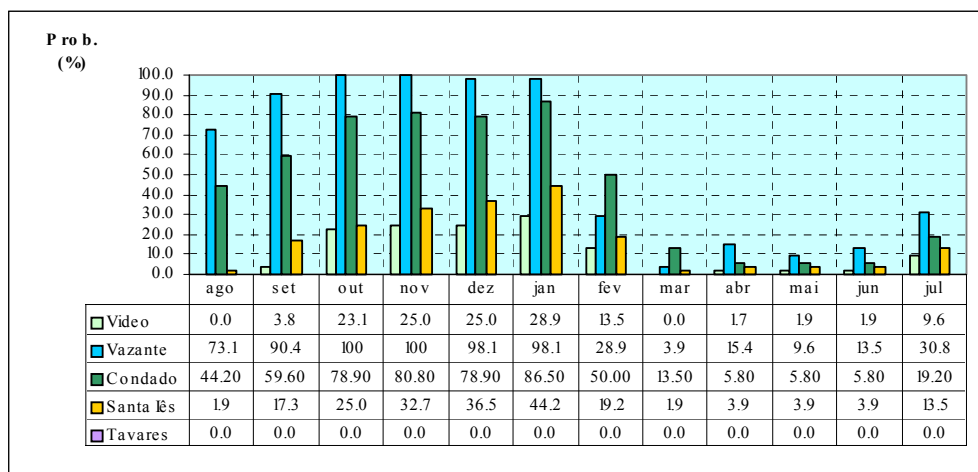
A - RESERVATÓRIOS SEM ABASTECIMENTO

Os resultados das probabilidades dos reservatórios deste grupo atingirem seus volumes mínimos para o 1º e 2º anos de horizonte de planejamento estão mostrados nos gráficos das Figuras 8.63 e 8.64, respectivamente. Dos resultados apresentados nas respectivas figuras pode-se fazer as seguintes análises para esse grupo de reservatórios, no tocante aos volumes mínimos:

1. No 1º ano de planejamento:

- Somente os reservatórios *Vazante* e *Condado* apresentaram chances de falha, com percentuais de 92,3% (mês de janeiro) e de 100% (meses de agosto a novembro), respectivamente;

Figura 8.64 – Probabilidades dos volumes dos reservatórios do Grupo-01 atingirem o nível mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento.



Na análise final desse grupo, pode-se dizer que, com relação aos volumes mínimos dos reservatórios:

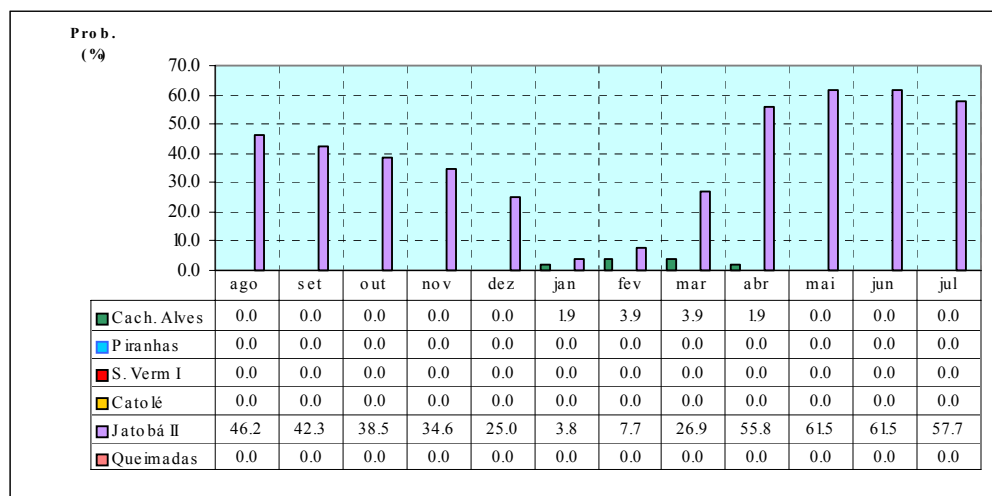
- De uma maneira geral, os reservatórios apresentaram maiores chances de terem seus volumes finais maiores ou iguais aos seus iniciais, quando se ampliou o horizonte de planejamento de um para dois anos; e
- De uma maneira geral, os reservatórios apresentaram maiores chances de atingirem seus volumes mínimos no 2º ano do planejamento.

B - RESERVATÓRIOS COM SOMENTE ABASTECIMENTO

Os resultados das probabilidades dos reservatórios deste grupo atingirem seus volumes mínimos para o 1º e 2º anos de horizonte de planejamento estão mostrados nos gráficos das Figuras 8.65 e 8.66, respectivamente, das quais, pode-se fazer as seguintes análises, no tocante aos volumes mínimos:

- Somente o reservatório Jatobá II apresentou pequena chance de atingir seu volume mínimo ao final do mês de julho no 1º ano de planejamento, com um percentual de 3,9%;
- No segundo ano de planejamento, além do reservatório Jatobá II, o reservatório Cachoeira dos Alves apresentou uma pequena chance nos meses de janeiro a abril, variando o percentual entre os valores 1,9% e 3,9%; e

Figura 8.66 – Probabilidades dos volumes dos reservatórios do Grupo-02 atingirem o nível mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento.



C - RESERVATÓRIOS COM ABASTECIMENTO E IRRIGAÇÃO

Para este grupo de reservatórios não foram observadas probabilidades dos mesmos atingirem seus volumes mínimos, nem no 1º e nem no 2º ano do horizonte de planejamento adotado no estudo. A razão para este fato pode ser explicada pelo maior controle sobre as liberações de água desses reservatórios, sendo priorizada o abastecimento urbano, com restrições na zona hidrológica seca, onde foi proposta uma redução da vazão para abastecimento nesta zona, onde se propõe que apenas metade da demanda seria liberada, evitando assim, um possível colapso hídrico desses reservatórios.

Outra razão para tais desempenhos dos reservatórios está no fato do atendimento das demandas de irrigação dos perímetros ligados diretamente aos mesmos terem controle rígido, não sendo permitida a liberação de água para essa finalidade, na zona hidrológica seca, considerada como crítica.

8.2.2.2 – ATENDIMENTO DAS DEMANDAS DE MONTANTE

Nesta seção foi analisado o atendimento as demandas de montante, considerando somente abastecimento urbano e irrigação, esta última sendo considerado tanto dos projetos ligados diretamente aos reservatórios (Poço Redondo, Canoas e Gravatá), quanto os projetos ao longo do Rio Piancó (Piancó II, III e Brotas). As outras demandas, tais como: piscicultura, foi considerada sendo desenvolvida nos próprios reservatórios, sendo portanto, considerada não consuntiva e, o abastecimento rural, por ser atendido por pequenos reservatórios ou, através de soluções localizadas, como poços e cisternas, não foi considerado neste trabalho.

As análises das demandas consideradas foram efetuadas por avaliação dos indicadores apresentados na Seção 7.3.2, quais sejam: *falhas no mês*, *falhas no período*; e *ao menos uma falha até o mês*. Na próxima seção serão apresentados e analisados os resultados para as demandas de abastecimento urbano e de irrigação, segundo os indicadores acima relacionados.

8.2.2.2.1 –DEMANDAS URBANAS

Comprometidos com o abastecimento urbano estão incluídos os reservatórios do Grupo-02 (somente abastecimento) e o Grupo-03 (abastecimento e irrigação), totalizando 10 reservatórios. São eles: Cachoeira dos Alves, Piranhas, Serra Vermelha I, Catolé, Jatobá II, Queimadas, Bruscas, Saco de Nova Olinda e Poço Redondo.

Os resultados serão apresentados e analisados por grupo de reservatórios e também individualmente, analisando os indicadores obtidos das simulações para o horizonte de planejamento e considerando as demandas para o horizonte de 20 anos (ano 2023), conforme apresentadas na Seção 6.6.2.

A - ANÁLISE POR GRUPO DE RESERVATÓRIOS

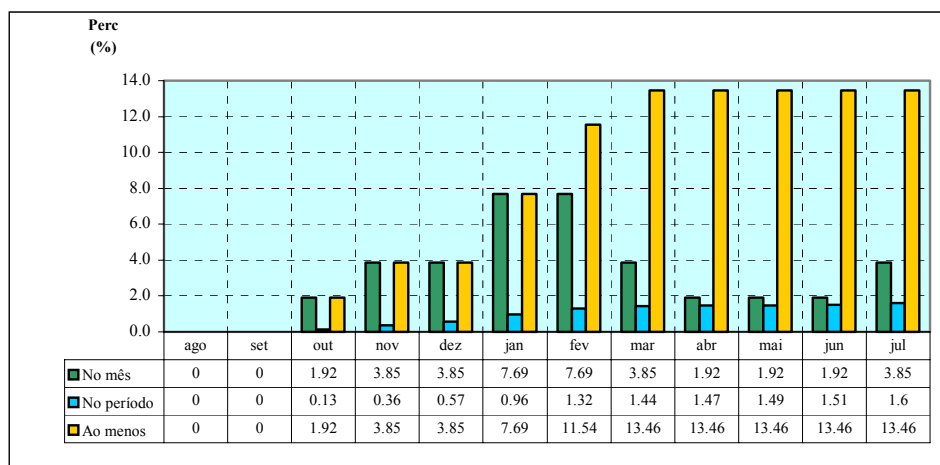
Na análise por grupo de reservatório foram avaliadas as falhas isoladas e também as falhas consecutivas referentes ao período superior ou igual a dois meses de falha. As simulações foram realizadas para o Grupo-01, correspondente aos reservatórios comprometidos com somente abastecimento urbano e também para o Grupo-02, envolvendo os reservatórios comprometidos com abastecimento urbano e irrigação.

Os resultados das simulações dos reservatórios do Grupo-01 estão apresentados nas Figuras 8.67 e 8.68, para falhas individuais e falhas consecutivas, respectivamente, para os dois anos de planejamento. Os reservatórios do Grupo-03 não apresentaram riscos de falhas no abastecimento urbano, para o horizonte de planejamento, considerando as demandas futuras dos municípios por eles atendidos.

As análises dos resultados obtidos para os reservatórios do Grupo-01 levaram as seguintes considerações, com relação ao atendimento das demandas urbanas:

- Somente os reservatórios Catolé e Jatobá II apresentaram probabilidades de falhas isoladas e consecutivas, sendo que, no reservatório Catolé, as falhas foram

Figura 8.71 – Percentuais de probabilidade dos indicadores das falhas observados para o reservatório Jatobá II no 2º ano do horizonte de planejamento.



Os resultados apresentados nas Figuras 8.69, 8.70 e 8.71 levaram as seguintes análises, com relação aos reservatórios:

a) Reservatório Catolé

- O gráfico da Figura 8.69 mostrou maiores probabilidades dos indicadores concentrados nos meses de agosto a novembro, conforme anteriormente observado na análise por grupo;
- Observação se faz com relação ao valor obtido para o indicador *iii* com percentual de 100% em praticamente em todos os meses (com exceção de janeiro), indicando que, para cada mês do horizonte de 1 ano, haverá probabilidade de 100% de ocorrência de pelo menos uma falha; e
- Não foram observadas falhas no referido reservatório no segundo ano de planejamento.

b) Reservatório Jatobá II

- A Figura 8.70 mostrou que, para o 1º ano do horizonte de planejamento, o maior percentual obtido foi para o indicador *iii*, com 100% de chances de ocorrência de pelo menos uma falha em todos os meses da simulação;
- Não apresentou probabilidade de falha no mês e, para as falhas no período, maiores chances nos meses de agosto a outubro; e

- No 2º ano do horizonte e planejamento, a Figura 8.71 mostrou que houve uma diminuição considerável em todos os indicadores, inclusive valores nulos nos meses de agosto a setembro.

Embora a análise para o abastecimento de demandas urbanas deva ser efetuada através de simulações contínuas, ao longo de toda a série de vazões geradas, a avaliação para o horizonte de planejamento adotado mostrou que os percentuais dos indicadores de falhas foram menores com a ampliação do horizonte de 1 para 2 anos. Este fato é indicativo de que, para uma melhor avaliação das respostas hídricas dos reservatórios, simulações com séries maiores são mais apropriadas, conforme o estudo realizado na etapa de *Diagnóstico*.

8.2.2.2.2 –DE IRRIGAÇÃO

Para avaliação do suprimento de irrigação do sistema de montante foram consideradas duas demandas: as demandas dos perímetros ligados diretamente aos reservatórios e as demandas dos perímetros situados ao longo do rio Piancó, a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água. As respostas do sistema de montante, no tocante ao suprimento dessas demandas hídricas, foram analisadas individualmente e estão apresentadas na seção seguinte.

A – PERÍMETROS LIGADOS DIRETAMENTE AOS RESERVATÓRIOS

Os reservatórios comprometidos com o suprimento de irrigação ligados diretamente a eles são: Bruscas (projeto Bruscas), Canoas e Saco de Nova Olinda (projeto Gravatá) e Poço Redondo (projeto Poço Redondo). Estes foram simulados com o uso do modelo MODSIM P32 para o horizonte de planejamento.

Os resultados obtidos não apresentaram risco de falhas no suprimento de água desses perímetros, confirmando os resultados anteriormente obtidos nas simulações contínuas realizadas na etapa de *Diagnóstico*. Na referida etapa, foi observado que, com a conclusão do reservatório Canoas, não haveria problema para suprimento das demandas de irrigação de nenhum perímetro ligado diretamente aos reservatórios, na parte de montante do sistema.

B – PERÍMETROS AO LONGO DO RIO PIANCÓ

O suprimento das demandas dos perímetros de irrigação situados ao longo do rio Piancó (projetos Piancó II, II e Brotas) foi analisado a partir das simulações dos reservatórios

do Grupo-01 (sem abastecimento), considerando também as contribuições hídricas das áreas não controladas pelos reservatórios deste grupo, para o horizonte de planejamento estabelecido no estudo.

Foram analisadas as falhas isoladas os indicadores de falhas consecutivas e, ainda dentro das falhas consecutivas, suas respectivas durações no 1º e no 2º ano de planejamento. Os resultados obtidos para as falhas isoladas estão apresentados na Figura 8.72, para os indicadores de falhas na Figura 8.73 e percentuais de falhas por duração, estão representados na Figura 8.74. Os resultados apresentados nas respectivas figuras levaram as análises descritas a seguir:

- A Figura 8.72 mostrou que as falhas isoladas foram mais significativas nos meses de outubro a janeiro, com valor percentual, para o último mês, de 34,6% de chances de falha;
- Não houve probabilidade de falha no 1º ano de planejamento, tendo somente sido observada no 2º ano de planejamento;
- A Figura 8.74 mostrou que as falhas consecutivas foram maiores nos meses de outubro, novembro e dezembro, do 2º ano de planejamento, com maior chance de falha (25%) no mês de dezembro, com falhas de duração de até 5 meses; e
- Com relação aos indicadores de falha, a Figura 8.73 mostrou que o indicador *iii*, apresenta valores altos, principalmente a partir de mês de janeiro, com probabilidade de pelo menos uma falha até este mês de 36,5%, no 2º ano de planejamento.

Diferentemente do resultado obtido para as demandas urbanas, onde as falhas observadas foram menores no 2º ano de planejamento, nas demandas para irrigação, as probabilidades de falhas foram maiores com o aumento do horizonte, de 1 para 2 anos. Este fato está relacionado com as prioridades maiores atribuídas ao abastecimento, onde, na zona hidrológica seca definidas para os reservatórios, houve restrição ao atendimento dessa demanda.

Figura 8.72 – Percentuais das falhas isoladas para o perímetro Piacó no 1º ano e no 2º ano do horizonte de planejamento.

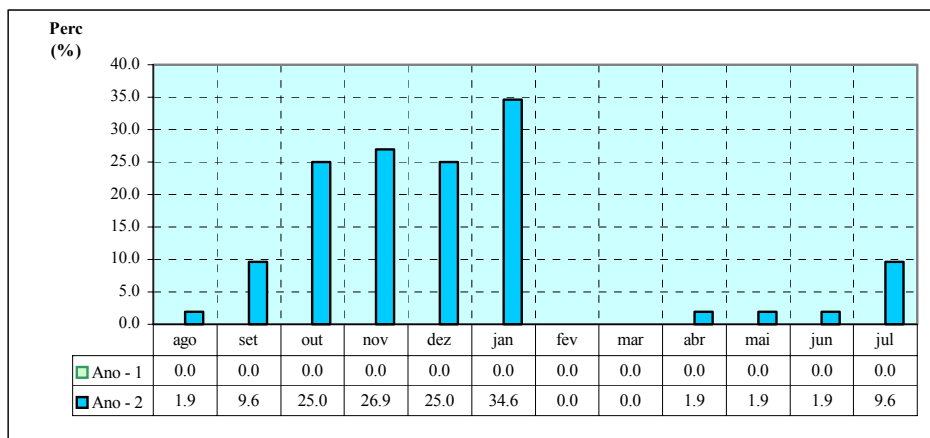


Figura 8.73 – Percentuais dos indicadores de falhas consecutivas para o perímetro Piacó no 2º ano do horizonte de planejamento.

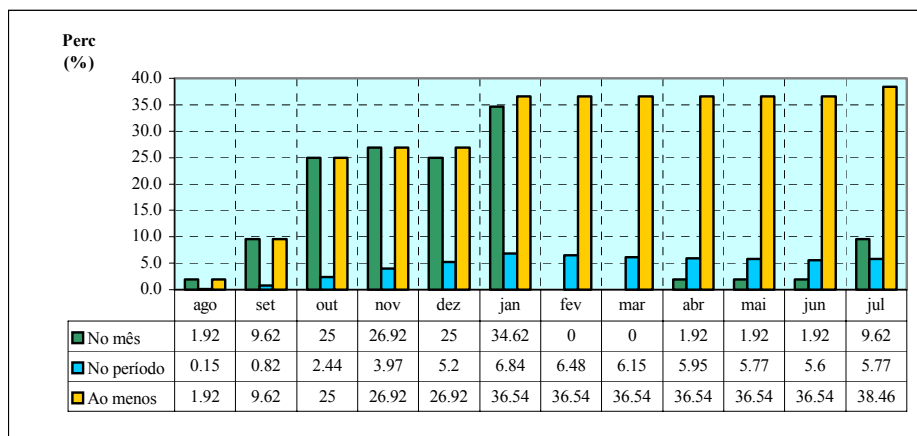
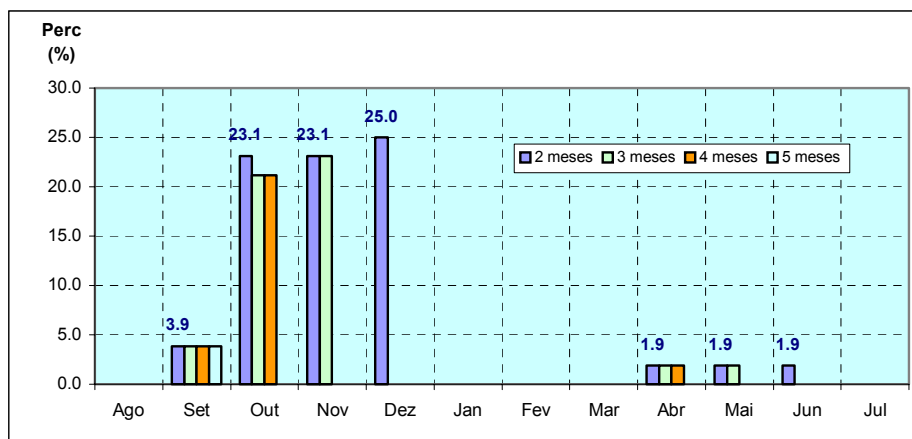


Figura 8.74 - Percentuais de duração das falhas consecutivas para o perímetro Piacó no 2º anos do horizonte de planejamento.



Os percentuais de falhas apresentadas nas Figuras 8.72 e 8.73 não são aceitáveis para o índice estabelecido pelo estudo, que foi de apenas 10%. Esse resultado confirma a constatação do estudo na etapa de *Diagnóstico*, onde se observou um déficit hídrico para suprimento das demandas de irrigação dos referidos perímetros.

8.2.2.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas nos item anteriores levaram as seguintes considerações no que tange a sustentabilidade hídrica e ao atendimento das demandas por parte do sistema de montante:

1. Com relação a sustentabilidade hídrica dos reservatórios:

- As chances dos reservatórios atingirem seus volumes finais iguais ou superiores aos volumes iniciais, aumentaram com o aumento do horizonte de planejamento;
- Foi verificado também que, o aumento das chances dos reservatórios atingirem seus volumes mínimos, ou seja, atingirem as zonas hidrológicas secas definidas para os respectivos reservatórios, com o aumento do horizonte de simulação;
- Os reservatórios com somente abastecimento (Grupo 2) apresentaram melhores desempenhos hídricos no 2º ano do horizonte de simulação os quais, com exceções dos reservatórios Catolé e Jatobá II, não apresentaram restrições aos usos das suas disponibilidades hídricas para tal finalidade; e
- Os reservatórios envolvidos com abastecimento e irrigação (Grupo-03) não apresentaram riscos de atingirem os níveis mínimos estabelecidos para os mesmos.

2. Com relação ao atendimento das demandas hídricas:

- As demandas hídricas de abastecimento urbano foram atendidas pela quase totalidade dos reservatórios, com exceções das demandas dos municípios Manaíra (abastecido pelo reservatório Catolé) e Princesa Isabel (abastecido pelo reservatório Jatobá II). Para tais localidades, para o horizonte de projeto

de 20 anos, terão que ser analisadas novas fontes de suprimento hídrico das suas respectivas demandas; e

- Para as demandas de irrigação não foi verificado no estudo, sustentabilidade hídrica para suprimento dos perímetros Piancó II, II e Brotas, com a utilização dos reservatórios do Grupo-03 e também do aporte hídrico das áreas não controladas pelos mesmos (Tributário 4), embora tenha se verificado um superávit hídrico desse tributário. O aproveitamento do superávit hídrico observado no tributário 4 (área não controlada) para suprimento das demandas de irrigação será analisado posteriormente neste estudo.

8.2.3 – O SISTEMA DE RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Nesta etapa do trabalho, o sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água foi analisado sob o ponto de vista da sua sustentabilidade hídrica para atendimento das demandas de jusante. Para tanto, foram realizadas análises do comportamento hídrico do mesmo, segundo as duas concepções da estrutura hídrica idealizadas neste estudo: como um único reservatório, operando somente na parte acima do canal de ligação e, o sistema como dois reservatórios, operando abaixo da cota de ligação, com transferência de água unilateral, ou seja, somente Coremas transferindo água para o reservatório Mãe D'Água.

Para a avaliação das respostas hídricas do sistema e também na análise de atendimento das demandas foram analisados os mesmos índices e indicadores descritos para o sistema de montante, conforme apresentado no organograma da Figura 7.25.

8.2.3.1- SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DO SISTEMA

Na avaliação da sustentabilidades hídrica do sistema foi utilizado o modelo MODSIM P32, módulo planejamento tático, para o horizonte de planejamento de dois anos, aplicado para as concepções hídricas idealizadas para o sistema Coremas-Mãe D'Água..

8.2.3.1.1 - O SISTEMA COMO UM ÚNICO RESERVATÓRIO

Nesta concepção, o sistema foi analisado como um único reservatório, operando até o limite da cota do canal de ligação (237m), delimitando volume útil armazenado é de 702,20 hm³, que representa 51,7% da capacidade total do sistema., denominada de zona hidrológica

superior (ZHS). As condições e prioridades para a simulação deste cenário foram descritas no Capítulo VII e, o esquema para a simulação está representado na Figura 7.31. O sistema foi simulado para os volumes iniciais de 100%, 90%, 80%, 70% e 60% da capacidade máxima do sistema e, os resultados e as análises serão apresentados a seguir, segundo os parâmetros estabelecidos anteriormente para a avaliação do comportamento hídrico do sistema.

3. CURVAS DE PERMANÊNCIA DOS VOLUMES NO SISTEMA

Nas Figuras 8.75 a 8.79 estão apresentadas as curvas de permanência do sistema para o 1º e 2º anos do horizonte de simulação para os volumes iniciais descritos anteriormente, para o mês de julho. As referidas figuras mostram os percentuais de probabilidades dos volumes finais no sistema nos dois anos de simulação.

Dos resultados das curvas de permanência dos reservatórios apresentados na Figuras 8.75 a 8.79, faz-se as seguintes análises, em função dos volumes iniciais do reservatório:

a. Para o volume inicial de 100% da Capacidade

- O sistema apresentou maior desempenho hídrico no 1º ano de planejamento, em todas as faixas de probabilidades;
- Para a probabilidade de 100%, o volume final foi maior no 1º ano, com o valor de 950 hm³ contra 680 hm³ no 2º ano de planejamento;
- A probabilidade do reservatório chegar ao final do período com a capacidade máxima foi superior no 1º ano, com o valor de 25% contra 20% do 2º ano de planejamento; e
- Na faixa de probabilidade entre 38% e 52%, os volumes no reservatório foram praticamente os mesmo no 1º e 2º anos do horizonte de planejamento adotado.

b. Para o volume inicial igual a 90% da capacidade

- O sistema apresentou maior desempenho hídrico no 2º ano de planejamento, entre a faixa de probabilidade de 25% e 65%. A partir de deste valor, o desempenho foi superior no 1º ano de planejamento;
- Para a probabilidade de 100%, o volume final foi maior no 1º ano, com o valor de 820 hm³ contra 680 hm³ no 2º ano de planejamento;

- A probabilidade do sistema chegar ao final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano, com o valor de 25% contra 19% do 1º ano de planejamento; e
 - As probabilidades do volume final no reservatório ser superior ou igual a seu volume inicial foram: para o 1º ano de 35% e no 2º ano de 42%, superando em 7% as chances no 2º ano em relação ao 1º ano;
- c. Para o volume inicial igual a 80% da capacidade
- O sistema apresentou maior desempenho hídrico no 2º ano de planejamento, entre a faixa de probabilidade de 25% e 62%. A partir de 70%, o desempenho foi superior no 1º ano de planejamento;
 - Para a probabilidade de 100%, o volume final foi maior no 1º ano, com o valor de 812 hm³ contra 680 hm³ no 2º ano de planejamento;
 - A probabilidade do sistema chegar ao final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano, com o valor de 21% contra 15% do 1º ano de planejamento; e
 - As probabilidades do volume final no reservatório ser superior ou igual a seu volume inicial foram: para o 1º ano de 39% e no 2º ano de 50%, superando em 11% as chances no 2º ano em relação ao 1º ano.
- d. Para o volume inicial igual a 70% da capacidade
- O sistema apresentou maior desempenho hídrico no 2º ano de planejamento, entre a faixa de probabilidade de 19% e 67%. A partir de 73%, o desempenho foi superior no 1º ano de planejamento;
 - Para a probabilidade de 100%, o volume final foi maior no 1º ano, com o valor de 720 hm³ contra 650 hm³ no 2º ano de planejamento;
 - A probabilidade do sistema chegar ao final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano, com o valor de 19% contra 13% do 1º ano de planejamento; e

- As probabilidades do volume final no reservatório ser superior ou igual a seu volume inicial foram: para o 1º ano de 46% e no 2º ano de 58%, superando em 12% as chances no 2º ano em relação ao 1º ano;
- e. Para o volume inicial igual a 60% da capacidade
- O sistema apresentou maior desempenho hídrico no 2º ano de planejamento, entre a faixa de probabilidade de 16% e 67%. A partir de 82%, o desempenho foi superior no 1º ano de planejamento;
 - Para a probabilidade de 100%, o volume final foi maior no 1º ano, com o valor de 650 hm³ contra 580 hm³ no 2º ano de planejamento;
 - A probabilidade do sistema chegar ao final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano de planejamento, com o valor de 16% contra 11% do 1º ano de planejamento; e
 - As probabilidades do volume final no reservatório ser superior ou igual a seu volume inicial (sustentabilidade hídrica) foram: para o 1º ano de 48% e no 2º ano de 59%, superando em 11% as chances no 2º ano em relação ao 1º ano;

Figura 8.75 – Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 100% da capacidade.

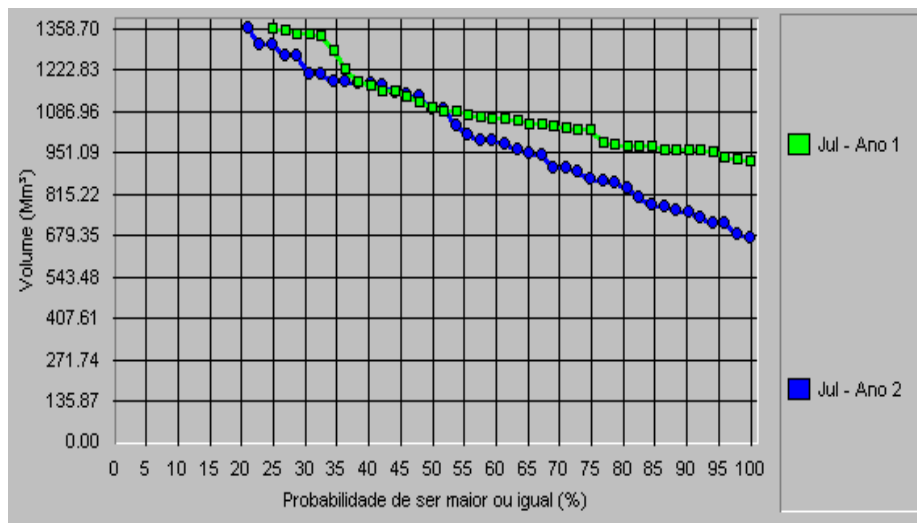


Figura 8.76 – Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 90% da capacidade.

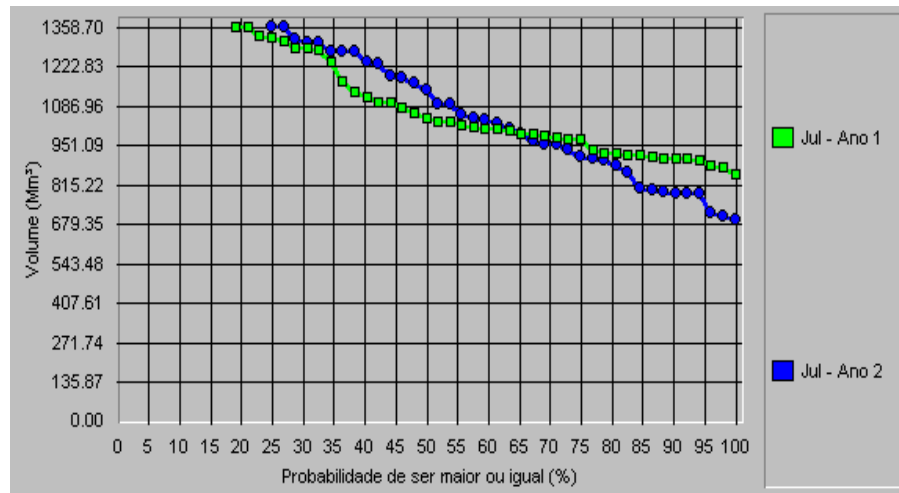


Figura 8.77 – Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 80% da capacidade.

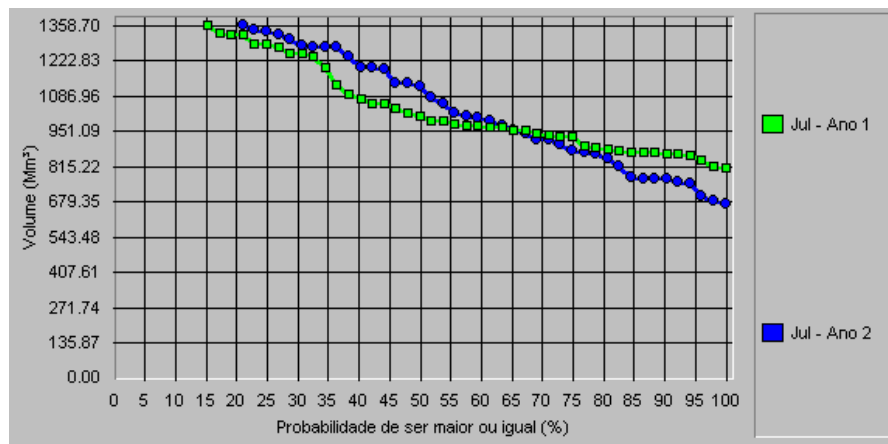


Figura 8.78 – Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 70% da capacidade.

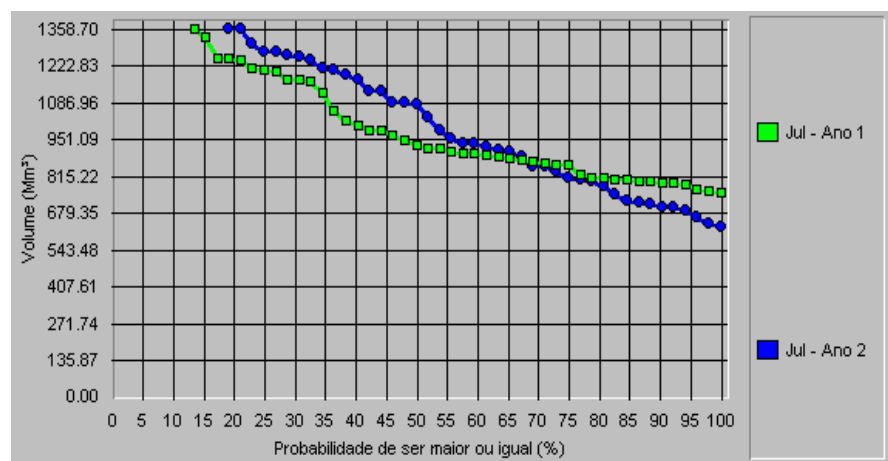
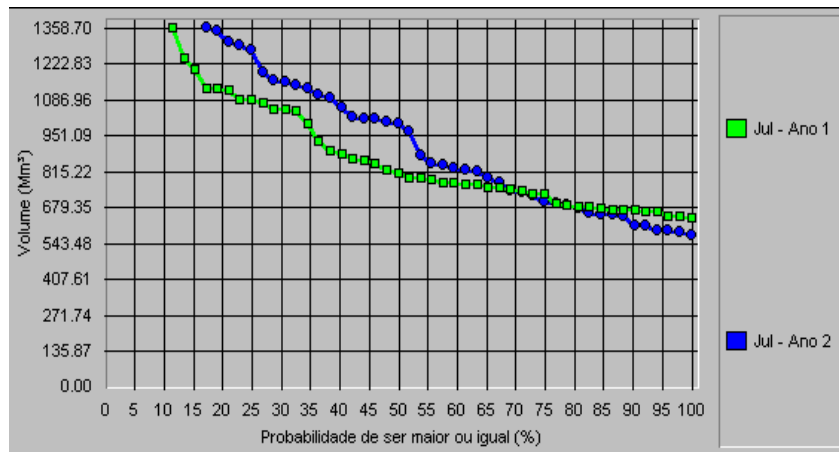


Figura 8.79 – Curvas de permanência dos volumes no sistema para o mês de julho nos 1º e 2º anos de simulação, para o volume inicial de 60% da capacidade.



Das análises anteriormente realizadas por volume inicial do reservatório, pode-se extrair as seguintes considerações finais:

1. Com exceção do volume inicial de 100% da capacidade, onde se observou um melhor desempenho hídrico do sistema em todas as faixas de prioridades no 1º ano de planejamento, em todas as outras situações de volumes iniciais consideradas foram obtidos melhores resultados no 2º ano de planejamento, para a faixa de probabilidades entre 16% e 67%;
2. Para a faixa de probabilidades maiores, ente 70% e 100%, os volumes finais do reservatório foram superiores no 1º ano de planejamento;
3. Com exceção do sistema iniciando na sua capacidade máxima, em todos os outros volumes iniciais, as probabilidades de reservatório chegar ao final do período com sua capacidade máxima foram superiores para o 2º ano de planejamento, com percentuais variando entre 25% e 17%, decrescendo em função da diminuição do volume inicial do reservatório; e
4. Ainda excetuando o caso anterior, as probabilidades do sistema chegar ao final do período, com seu volume superior ou igual ao volume inicial, foram maiores no 2º ano de planejamento, com valores na faixa de 7% a 12%, variando inversamente com o volume inicial do reservatório. Isso quer dizer que, para menores volumes iniciais do reservatório, maiores serão as chances do mesmo atingir ou superar, ao final do período do planejamento, os referidos volumes.

2. PROBABILIDADES DOS VOLUMES FINAIS SEREM SUPERIORES OU IGUAIS AOS VOLUMES INICIAIS

Os resultados obtidos dos percentuais de probabilidades mensais do sistema estar com volumes finais superiores ou iguais ao volumes iniciais, estão apresentados nas Figuras 8.80 e 8.81 para o 1º e para o 2º ano do horizonte de planejamento, respectivamente.

Figura 8.80 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial no sistema para o 1º ano de planejamento.

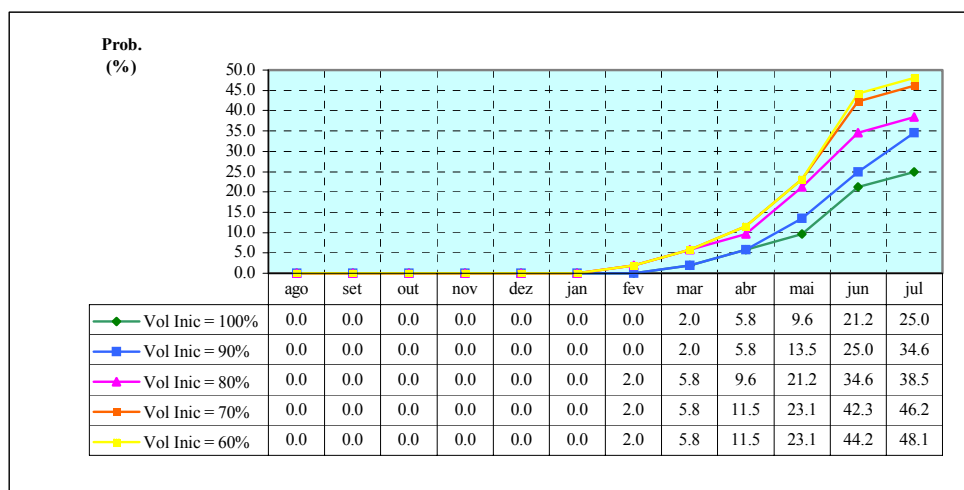
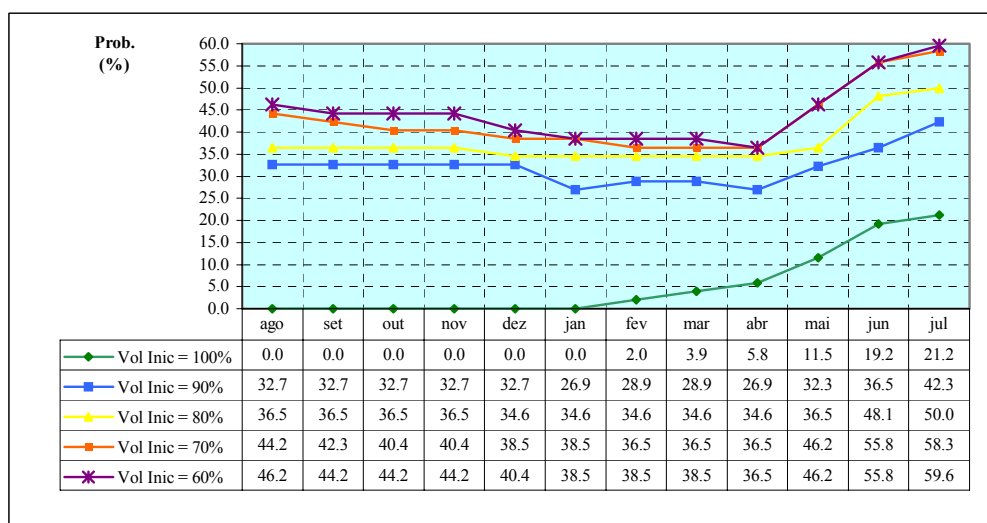


Figura 8.81 - Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superiores ao volume inicial no sistema para o 2º ano de planejamento.



Dos resultados apresentados nas figuras 8.80 e 8.81 foram feitas as seguintes análises:

1. Para o 1º ano de planejamento:

- As probabilidades foram superiores durante o período chuvoso e também logo após este (período fevereiro a julho); e
- As probabilidades foram superiores para os volumes iniciais menores no reservatório.

2. Para o 2º ano de planejamento:

- As probabilidades foram superiores durante o período chuvoso e também logo após este (período fevereiro a julho);
- As probabilidades foram superiores para os volumes iniciais menores no reservatório;
- Com exceção do volume inicial do sistema igual a capacidade máxima, para os outros casos, as probabilidades foram superiores para volumes iniciais menores; e
- Para a obtenção dos volumes finais maiores ou iguais aos volumes iniciais, as chances foram maiores quando se ampliou o horizonte do planejamento de 1 para 2 anos.

3. PROBABILIDADE DE ATINGIREM SEUS VOLUMES MÍNIMOS

Os resultados das probabilidades do sistema atingir seu volume mínimo no 1º e 2º anos do horizonte de planejamento estão mostrados nos gráficos das Figuras 8.82 e 8.83, respectivamente.

Figura 8.82 – Probabilidades dos volumes do sistema atingirem o nível mínimo para o 1º ano do horizonte de planeamento, em função dos volumes iniciais.

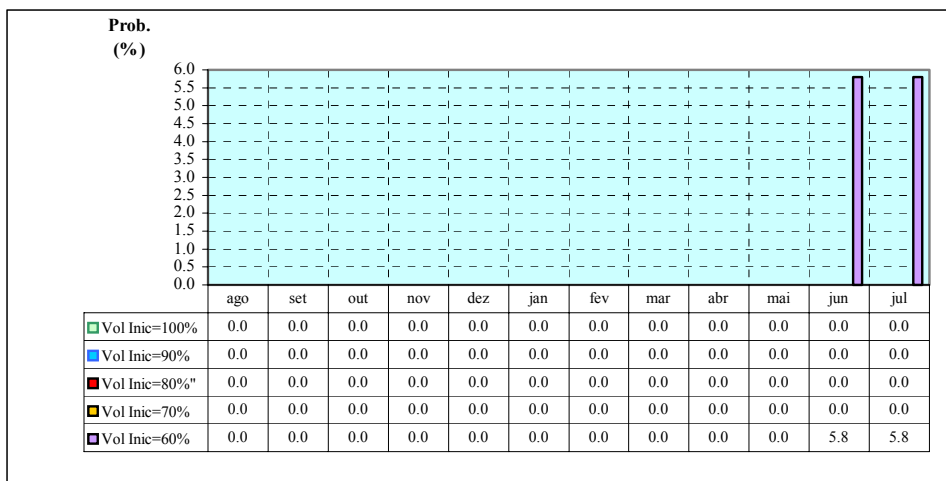
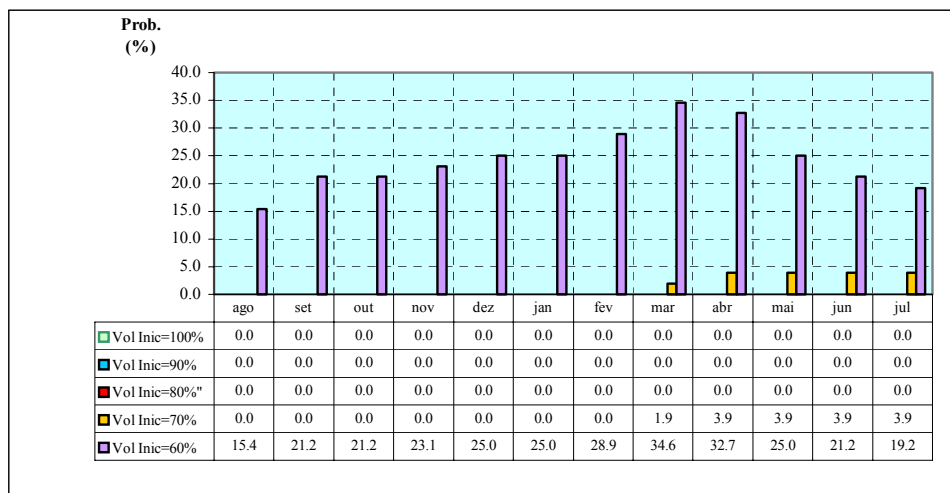


Figura 8.83 – Probabilidades dos volumes do sistema atingirem o nível mínimo para o 2º ano do horizonte de planeamento, em função dos volumes iniciais.



As análises realizadas a partir das referidas figuras foram:

1. No 1º ano de planeamento, somente para o volume inicial de 60% da capacidade máxima, foram verificadas falhas no sistema nos meses de junho e julho, com valor percentual de 5,8%, em ambos os meses; e
2. No 2º ano de planeamento, neste horizonte as seguintes observações são feitas:
 - Não foram verificadas falhas do sistema quando se iniciou a simulação com volumes superiores ou iguais a 80% da sua capacidade máxima de acumulação; e

- A medida que se reduziu os volumes iniciais do reservatório, aumentaram as chances de falhas do mesmo.

Das análises anteriormente realizadas, constatou-se que, para o horizonte de planejamento de até dois anos, para sistema considerado como único reservatório nas condições operacionais estabelecidas neste estudo e ainda, para o horizonte de planejamento adotado, sugere-se que, para a operação do reservatório iniciando a partir do mês de agosto, o mesmo deverá estar com um volume inicial com pelo menos 80% da sua capacidade. Até o referido percentual, que equivale a um volume de aproximadamente $1.086,9 \text{ hm}^3$, o sistema apresentou garantias dentro dos percentuais estabelecidos neste estudo, para o atendimento das demandas de abastecimento e piscicultura.

8.2.3.1.2 - O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS INTERLIGADOS

Nesta situação os reservatórios foram operados individualmente e analisadas as curvas de permanência dos volumes nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água. Foram consideradas para as simulações que, ambos os reservatórios com suas capacidades iniciais na referida cota do canal de ligação (237m) entre os mesmos, correspondentes aos volumes de $373,0 \text{ hm}^3$ para o reservatório Coremas e de $283,7 \text{ hm}^3$, para o reservatório Mãe D'Água. Estes foram operados simultaneamente, havendo transferência de água apenas do reservatório Coremas para Mãe D'Água quando este atingisse a cota máxima de acumulação, conforme ilustrado na Figura 7.28.

4. CURVAS DE PERMANÊNCIA DOS VOLUMES NO SISTEMA

As curvas de permanência dos reservatórios Coremas e Mãe d'Água estão apresentadas nas Figuras 8.84 e 8.85, respectivamente.

Figura 8.84 – Curvas de permanência dos volumes do reservatório Coremas para o mês de julho no 1º e no 2º ano de simulação.

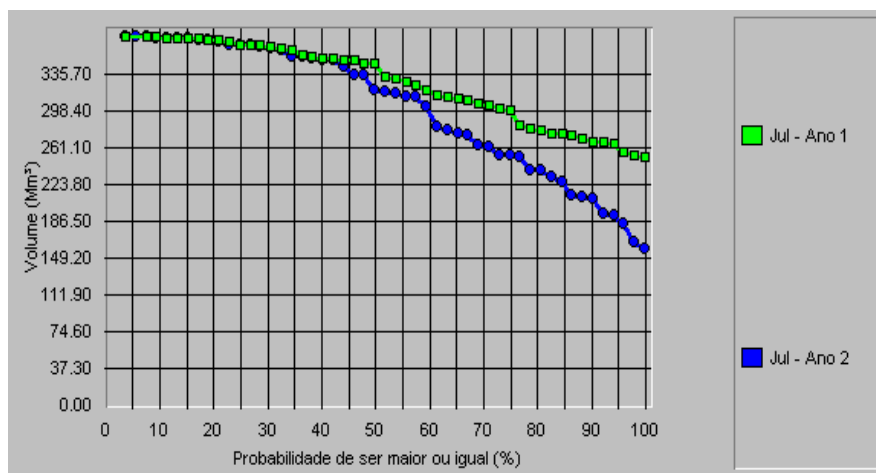
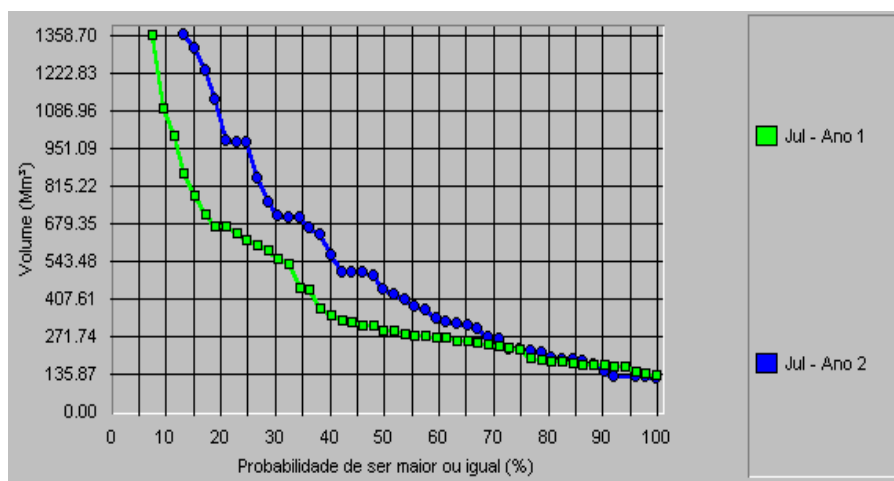


Figura 8.85 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água para o mês de julho no 1º e no 2º anos de simulação



Nas análises realizadas nas curvas de permanência de volumes dos referidos reservatórios, apresentadas nas Figuras 8.84 e 8.85, pode-se fazer as seguintes considerações:

1. Para o reservatório Coremas:

- As chances deste reservatório de chegar ao final do 1º e 2º anos de planejamento com volumes iguais ou superiores ao volume inicial foram de 7,7% e 5,8%, respectivamente. O referido reservatório apresentou melhor desempenho hídrico no 1º ano do horizonte de planejamento, considerando o mesmo apenas como doador de água para o reservatório Mãe D'Água;

- Para a probabilidade de 100%, o volume final no reservatório foi superior no 1º ano do que no 2º ano de planejamento, com os valores de 250,2 hm³ e 157,9 hm³, respectivamente; e
- A probabilidade do reservatório chegar a final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano do planejamento, com o valor de 17,3%.

2. Para o reservatório Mãe D'Água:

- As chances do reservatório de chegar ao final do 1º e 2º anos de planejamento com volumes iguais ou superior ao volume inicial foram de 51,7% e 67,3%, respectivamente, ou seja, o referido reservatório apresentou melhor desempenho hídrica no 2º ano do horizonte de planejamento, para a condição imposta do mesmo ser apenas receptor de água do reservatório Coremas;
- Para a probabilidade de 100%, os volumes finais no 1º e 2º anos de planejamento, foram praticamente iguais;
- A probabilidade do reservatório chegar a final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano, com o valor de 13,5%, contra 7,7% no 1º ano do planejamento; e
- O reservatório apresentou maiores chances de atingir seu volume mínimo no 2º ano de planejamento.

2. PROBABILIDADES DOS VOLUMES FINAIS SEREM SUPERIORES OU IGUAIS AOS VOLUMES INICIAIS

Os resultados das probabilidades mensais para os reservatórios Coremas e Mãe D'Água atingirem ou superaram seus volumes iniciais, em cada ano do horizonte de planejamento, estão representados nas Figuras 8.86 e 8.87, respectivamente. Nas Figuras 8.88 e 8.89, estão apresentados às curvas de probabilidades de volumes mensais serem iguais ou superiores ao volumes finais para os reservatórios Coremas e Mãe D'Água no 1º e 2º anos do horizonte de planejamento, respectivamente.

Figura 8.86 – Probabilidades dos volumes no reservatório Coremas para o 1º e o 2º anos de planejamento.

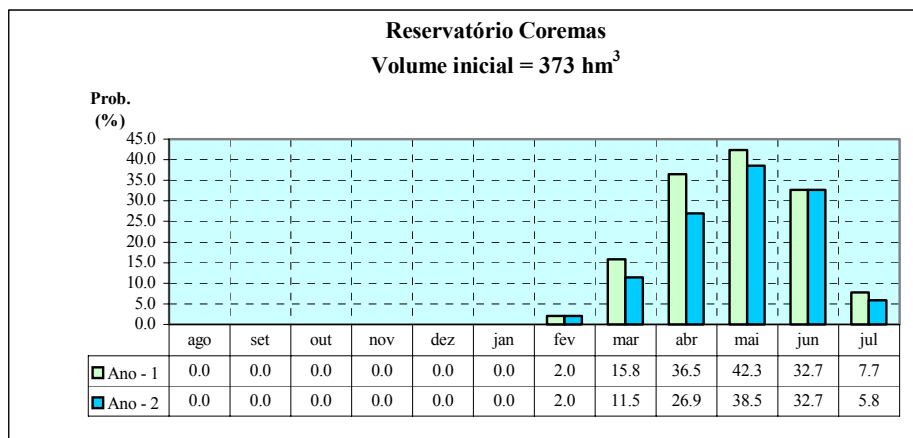


Figura 8.87 – Probabilidades dos volumes no reservatório Mãe D'Água para o 1º e o 2º anos de planejamento.

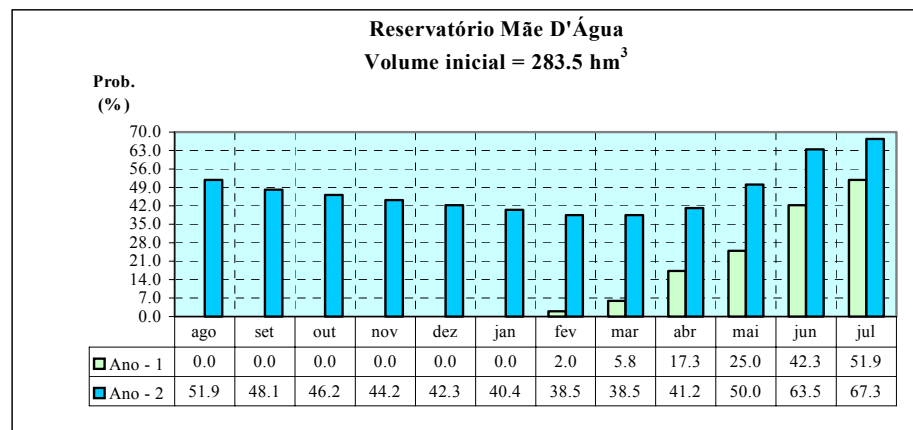


Figura 8.88 - Curvas de probabilidades de volumes mensais iguais ou superiores ao volume inicial nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água no 1º ano de planejamento.

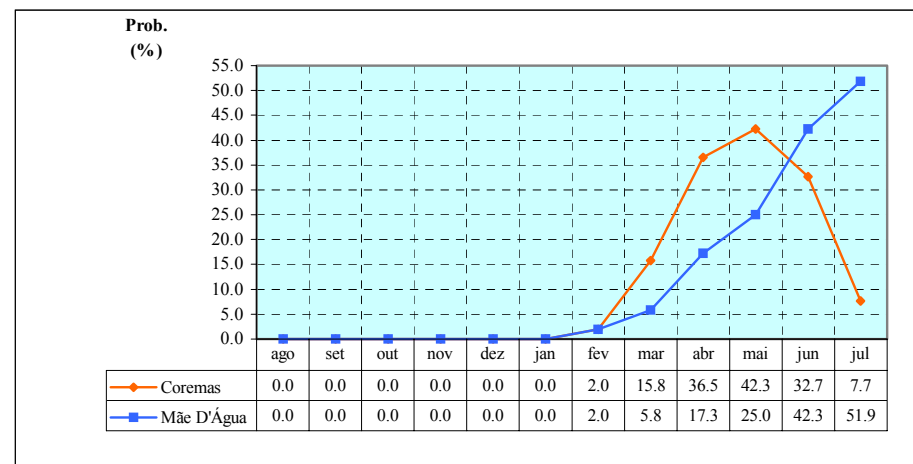
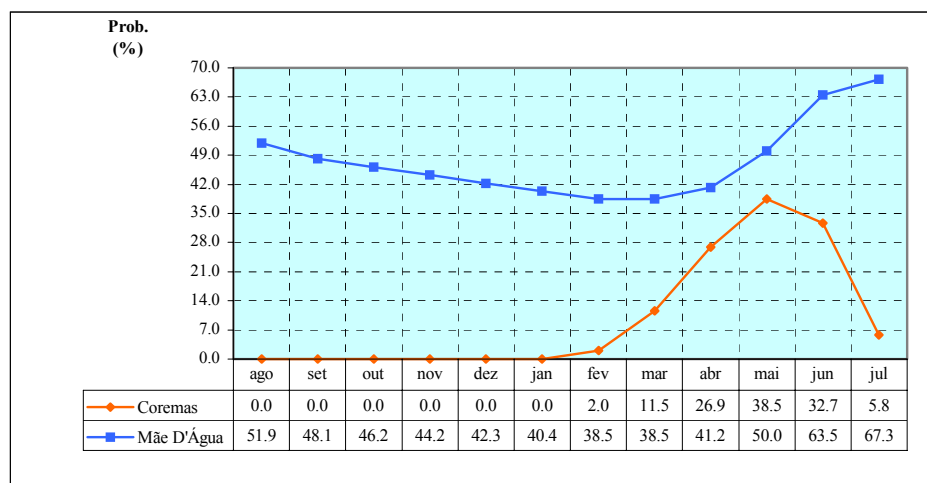


Figura 8.89 - Curvas de probabilidades de volumes mensais iguais ou superiores ao volume inicial nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água no 2º ano de planejamento.



Como considerações gerais, a partir dos resultados apresentados nas Figuras 8.86 a 8.89 tem-se que: as chances dos volumes finais no reservatório Coremas serem superiores ou iguais ao volume inicial foram maiores no 1º ano de planejamento, no período entre os meses de março e junho, com valor máximo observado no mês de maio, de 42,3%. Para o reservatório Mãe D'Água as chances foram maiores no 2º ano de planejamento, ao longo dos doze meses, sendo mais expressivas nos meses de maio a julho, quando atingiu o valor máximo de 67,3%. Análises feitas ainda a partir dos resultados apresentados nas referidas figuras, com relação aos horizontes de planejamento, mostraram que:

1. Para o 1º ano de planejamento

- As chances do reservatório Coremas de atingir melhores desempenhos hídricos foram crescentes durante todo o período chuvoso (fevereiro a maio), atingindo o valor máximo no último mês de 42,3%; e
- As chances do reservatório Mãe D'Água de atingir melhores desempenhos hídricos foram sempre crescentes a partir do início do período chuvoso, até o final do 1º ano de planejamento, quando atingindo o valor máximo de 51,9%.

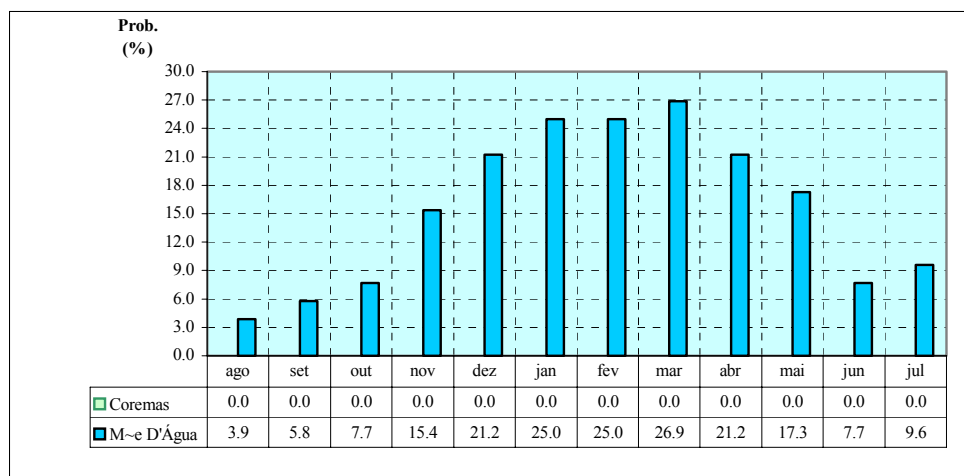
2. Para o 2º ano de planejamento

- O reservatório Coremas teve o mesmo comportamento do 1º ano, atingindo o valor máximo de 38,5% no mês de maio; e
- O reservatório Mãe D'Água apresentou um declínio das chances no início da simulação até o mês de fevereiro, com o aumento decorrente do início do período chuvoso, até o final do período, quando atingindo o valor máximo de 67,3%.

3. PROBABILIDADE DE ATINGIREM SEUS VOLUMES MÍNIMOS

Os resultados das probabilidades dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água atingirem seus volumes mínimos estão mostrados no gráfico da Figura 8.90, onde se observa que somente o reservatório Mãe D'Água apresentou chances de atingir seu volume mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento.

Figura 8.90– Probabilidades dos volumes dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água atingirem o nível mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento.



8.2.3.1.3 - ANÁLISES FINAIS

Como análise finais dos parâmetros anteriormente descritos nas duas concepções hídricas do sistema idealizadas neste trabalho, podem ser descritas as seguintes considerações:

1. **Com relação às capacidades máximas dos reservatórios.** As chances dos reservatórios atingirem suas capacidades máximas foram maiores no 2º ano de planejamento;
2. **Com relação aos volumes finais dos reservatórios superarem ou igualarem seus volumes iniciais**
 - O reservatório Coremas apresentou maiores chances para o primeiro ano de planejamento;
 - O reservatório Mãe D'Água apresentou maiores chances no 2º ano de planejamento; e
 - Em ambos reservatórios, as chances foram maiores a partir do início do período chuvoso.
3. **Com relação aos volumes finais nos reservatórios:**
 - A probabilidade do reservatório Coremas chegar ao final do período com volumes maiores, com probabilidade de 100%, foi obtido no 1º ano de planejamento;e
 - Para o reservatório Mãe D'Água os valores de volumes finais foram praticamente iguais, para a probabilidade de 100%, nos dois anos de planejamento.
4. **Com relação aos volumes extremos (máximos e mínimos):**
 - Somente o reservatório Mãe D'Água apresentou chances de atingir seu volume mínimo no 2º ano do horizonte de planejamento; e
 - As chances dos reservatórios atingirem seus volumes máximos, foram superiores no 1º ano de planejamento para o reservatório Coremas e no caso do reservatório Mãe D'Água, foram maiores no 2º ano de planejamento, em virtude da transferência de água do reservatório Coremas para o Mãe D'Água.

8.2.3.2 - ATENDIMENTO AS DEMANDAS DE JUSANTE

Nesta seção foram analisadas as respostas hídricas do sistema também para as concepções hídricas anteriormente analisadas, no tocante ao atendimento das demandas hídricas de jusante. Para a concepção hídrica como *único reservatório*, foram realizadas simulações para os mesmos volumes iniciais considerados na avaliação da sustentabilidade hídrica, para o atendimento das demandas de abastecimento, piscicultura e irrigação para o zoneamento hidrológico do reservatório, prioridades e níveis de confiabilidade descritos na Seção 7.3.2.1.

Para a concepção hídrica do sistema como *dois reservatórios*, as demandas foram estudadas por reservatórios, conforme mostradas na Figura 7.28, ou seja, o reservatório Coremas seria responsável pelo atendimento das demandas de abastecimento, piscicultura e irrigação de jusante do rio Piancó e o reservatório Mãe D'Água ficaria responsável apenas com o suprimento do Canal da Redenção. As respostas ao atendimento das demandas foram analisadas seguindo a mesma metodologia aplicada ao sistema de montante, analisando as falhas isoladas e contínuas nas duas concepções hídricas do sistema.

8.2.3.2.1 – FALHAS ISOLADAS

Primeiramente foram analisadas as falhas isoladas de atendimento das demandas para cada concepção hídrica do sistema, ao longo dos dois anos de planejamento, obtidas do modelo MODSIM P32. Vale ressaltar que a priorização de atendimento das demandas de abastecimento estabelecida neste estudo na Seção 7.3.2, onde ficou determinado que, a medida que se diminui o volume inicial do sistema, seria imposto um custo maior para o atendimento da demanda de irrigação, como forma de garantir o suprimento das demandas prioritárias (abastecimento e piscicultura). Os valores das prioridades de atendimento a demandas variam entre 0 e 99, sendo a de menor valor, aquela com maior prioridade. Os custos para atendimento da demanda (valor inserido no “link”) podem variar de 0 a 9999, sendo o menor valor, atendido prioritariamente pelo sistema representado pelo o modelo MODSIM P32. Os valores dos custos utilizados no atendimento as demandas pelo sistema, estão apresentados na tabela 8.56.

A seguir serão apresentados e analisados os resultados obtidos das simulações do sistema, em função das duas concepções hídricas idealizadas para o estudo.

Tabela 8.56 – Custos aplicados ao atendimento das demandas em função do volume inicial do sistema Coremas-Mãe D'Água.

<i>Volume inicial</i>		<i>Custos de atendimento</i>		
(hm ³)	(%)	Abastecimento	Piscicultura	Irrigação
1.358,7	100%	0	500	300
1.222,8	90%	0	500	900
1.086,9	80%	0	500	950
951,1	70%	0	500	1000
815,2	60%	0	500	1000

A – O SISTEMA COMO ÚNICO RESERVATÓRIO

Nas tabelas 8.57, 8.58 e 8.59 estão mostradas os percentuais de falhas isoladas mensais por volume inicial do reservatório para as demandas de abastecimento, piscicultura e irrigação, respectivamente. Nos gráficos das Figuras 8.91 a 8.92 estão mostradas as distribuições das falhas isoladas por demandas, para o 1º e 2º anos do horizonte de planejamento estudado.

As análises feitas a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 8.57, 8.58 e 8.59 estão descritas a seguir:

- O sistema somente apresentou risco de desabastecimento das demandas urbanas e piscicultura, com o volume inicial de reservatório a partir de 70% da sua capacidade máximo, mas ainda, com percentuais aceitáveis para tais demandas: 1,9% (< 2%) para demandas urbanas e 1,9% (< 5%) para piscicultura, no 2º ano do planejamento;
- Para o volume inicial igual a 60% da capacidade, o sistema não conseguiu atender as referidas demandas, no 2º ano de planejamento, com o nível de confiabilidade estabelecidas pelo estudo; e
- Para as demandas totais de irrigação (Várzeas de Sousa e irrigação no Rio Piancó), o sistema somente atenderia no primeiro ano de horizonte de planejamento, iniciando a operação na sua capacidade máxima (1358,70 hm³). Neste caso, ter-se-á que se definir níveis de priorização de atendimento as demandas de irrigação: *Várzeas de Sousa versus irrigação jusante.*

Tabela 8.57 – Falhas isoladas mensais para o atendimento da demanda de abastecimento por volume inicial do sistema, no 1º e no 2º ano de planejamento.

Vol. inicial		ao	Percentual mensal (%)											
(hm ³)	(%)		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1.358,7	100,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.222,8	90,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.086,9	80,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
951,1	70,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0
815,2	60,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
		2º	15,4	19,2	21,2	23,1	25,0	25,0	26,9	26,9	15,4	5,8	3,9	5,8

Tabela 8.58 – Falhas isoladas mensais para o atendimento da demanda de piscicultura por volume inicial do sistema, no 1º e no 2º ano de planejamento.

Vol. inicial		ano	Percentual mensal (%)											
(hm ³)	(%)		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1.358,7	100,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.222,8	90,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.086,9	80,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
951,1	70,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
815,2	60,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8

Tabela 8.59 – Falhas isoladas mensais para o atendimento da demanda de irrigação por volume inicial do sistema, no 1º e no 2º ano de planejamento

Vol. inicial		ano	Percentual mensal (%)											
(hm ³)	(%)		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1.358,7	100,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	94,2	96,2	96,2	88,5	78,9
1.222,8	90,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,1	92,3	86,5	82,7
		2º	98,1	94,2	90,4	88,5	96,2	96,2	96,2	94,2	92,3	84,6	76,9	78,9
1.086,9	80,0	1º	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	92,3	82,7	82,7
		2º	94,2	92,3	96,2	98,1	100,0	98,1	96,2	92,3	92,3	88,5	76,9	78,9
951,1	70,0	1º	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	94,2	88,5	88,5	88,5
		2º	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,2	92,3	88,5	80,8	80,8	0,0
815,2	60,0	1º	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	94,2	88,5	88,5	88,5
		2º	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	96,2	88,5	84,6	82,7

Figura 8.91 – Probabilidades de falhas isoladas por demanda para o 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 100% da capacidade.

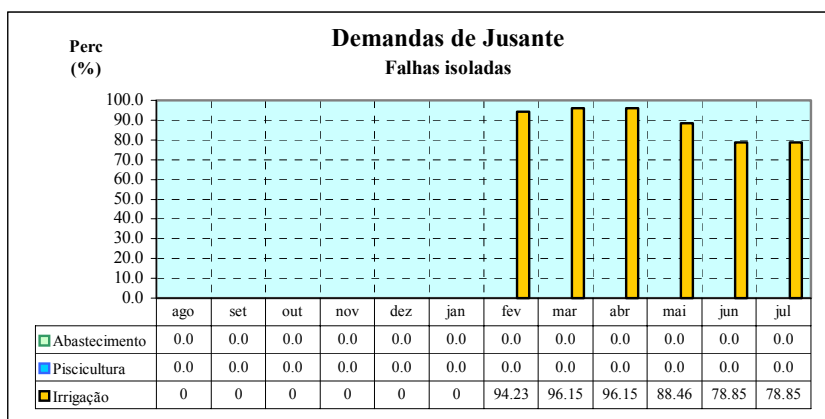


Figura 8.92 – Probabilidades de falhas isoladas para a irrigação para o 1º e 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 90% da capacidade.

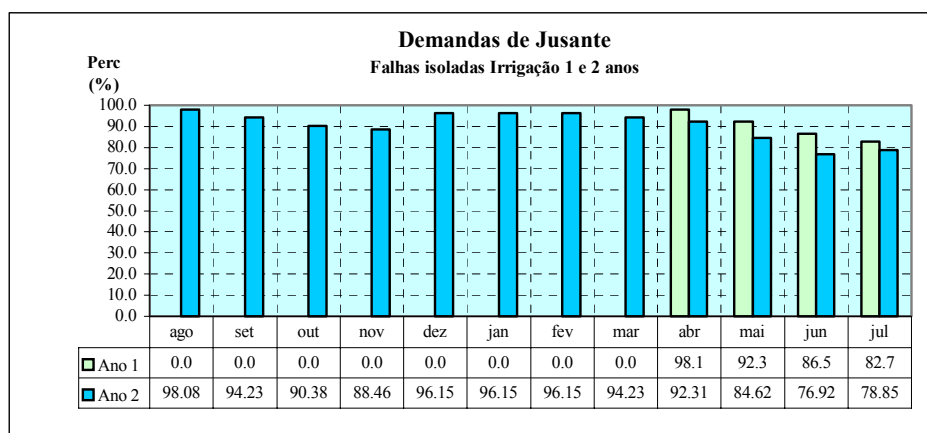


Figura 8.93 – Probabilidades de falhas isoladas de irrigação para o 1º e 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 80% da capacidade.

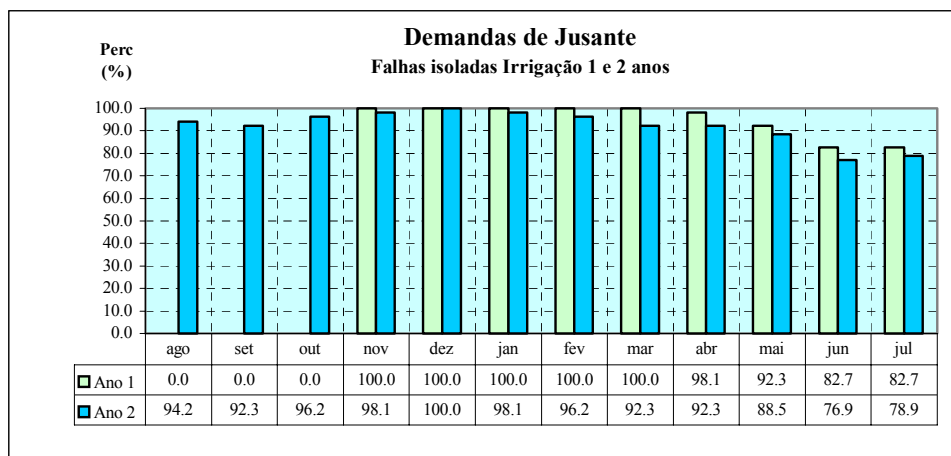


Figura 8.94 – Probabilidades de falhas isoladas para as demandas de abastecimento e piscicultura para o 2º ano de planejamento para volume inicial do sistema igual a 70% da capacidade.

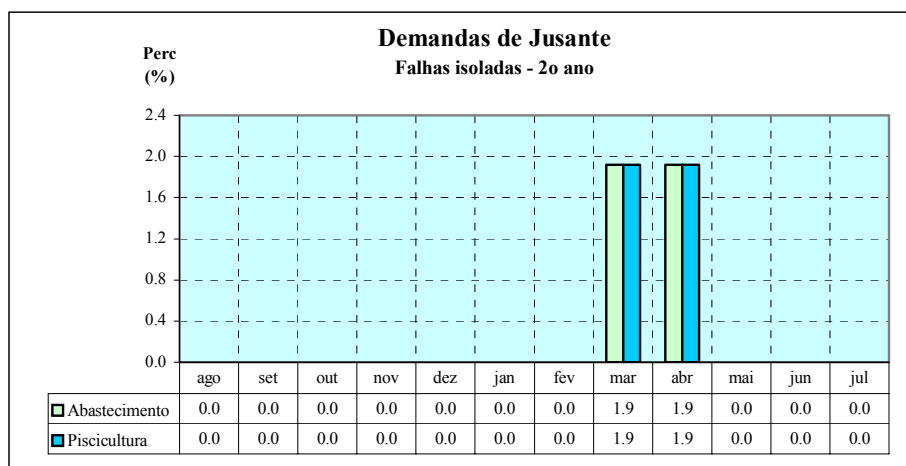
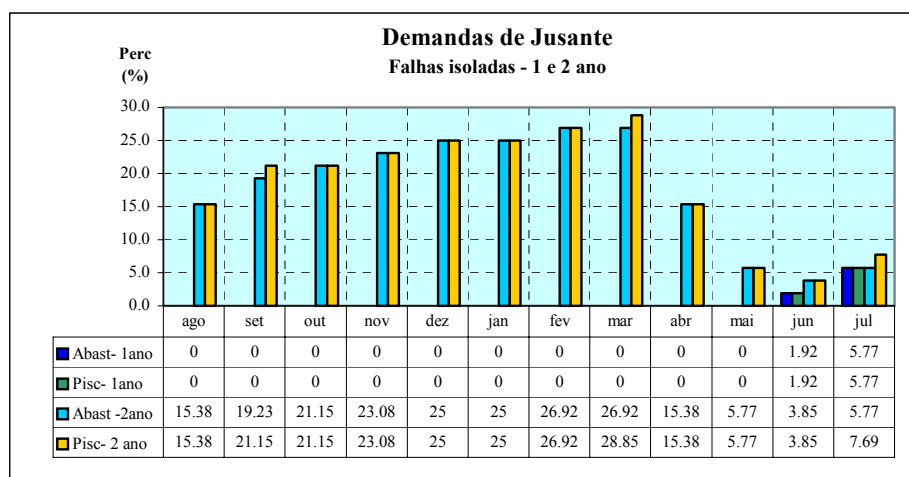


Figura 8.95 – Probabilidades de falhas isoladas para as demandas de abastecimento e piscicultura para o 1º e 2º ano de planejamento para o volume inicial do sistema igual a 60% da capacidade.



As análises feitas a partir dos resultados apresentados nas Figuras 8.91 a 8.95 estão descritas a seguir, em função dos volumes iniciais no reservatório

- Para o volume inicial igual a 100% da capacidade, não atendimento das demandas totais de irrigação no segundo semestre do ano de planejamento;
- Para o volume inicial igual a 90% da capacidade, falha no atendimento das demandas totais de irrigação no primeiro e segundo ano de planejamento;
- Para o volume inicial igual a 80% da capacidade, falha no atendimento das demandas já no primeiro ano, com probabilidade igual a 100%;

- Para o volume inicial igual a 70% da capacidade, risco de não atendimento das demandas de abastecimento e piscicultura, entretanto, com índices ainda aceitáveis; e
- Para o volume inicial igual a 60% da capacidade, risco de não atendimento das demandas de abastecimento no primeiro e segundo ano do horizonte de planejamento.

Como análises finais das avaliações anteriormente descritas, faz-se as seguintes considerações gerais:

1. Para garantia de abastecimento urbano e piscicultura, com níveis aceitáveis, o sistema teria de ser operado para o volume inicial com percentual maior ou igual a 70% de sua capacidade, a partir do mês de agosto. Este percentual corresponde ao volume igual ou superior a $951,1 \text{ hm}^3$, considerando o volume final como sendo o canal de ligação entre os dois reservatórios, operando o sistema na zona hidrológica superior (ZHS), conforme apresentado na Figura 7.29;
2. Para atendimento das demandas totais de irrigação, o sistema somente teria sustentabilidade hídrica por um ano de planejamento, iniciando o sistema com sua capacidade máxima; e
3. Para outros níveis de volumes iniciais, tem-se que priorizar as áreas de irrigação do projeto *Várzeas de Sousa versus irrigação no rio Piancó*, a jusante do sistema

B – O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

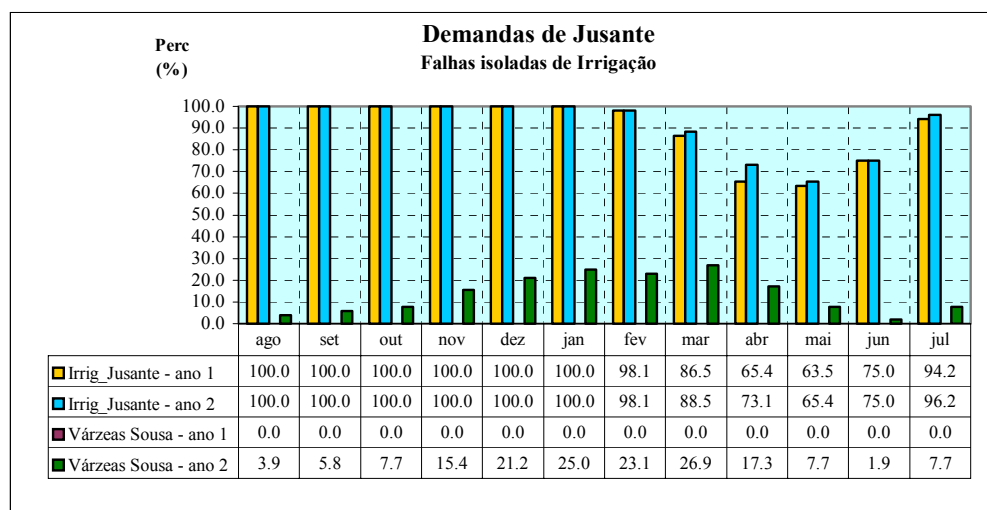
Nesta seção, as demandas foram distribuídas por reservatório, conforma apresentado na Figura 7.29, para os valores das demandas apresentados na Seção 7.3.2.2. As demandas de irrigação, que na seção anterior foi colocada como total, neste caso, foram sub-divididas em demandas *de jusante do sistema* (projeto Piancó I e irrigações localizadas) e as demandas das *Várzeas de Sousa*, a serem supridas pela vazão, considerado no estudo constante, de $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$, através do canal da Redenção. Neste estudo foi priorizado o atendimento desta última demanda face os investimentos financeiros aplicados pelo Estado no projeto *Várzeas de Sousa*. Os resultados das falhas para as demandas de abastecimento, piscicultura e irrigação

(por projeto) estão apresentados na Tabela 8.60 e, na Figura 8.96, o gráfico da distribuição percentual das falhas das demandas de irrigação de jusante ao sistema

Tabela 8.60 – Falhas isoladas no atendimento as demandas de jusante por mês .

Tipo de Demanda	ano	Percentual mensal (%)											
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Abastecimento	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piscicultura	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Várzeas de Sousa	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	3,9	5,8	7,7	15,4	21,2	25,0	23,1	26,9	17,3	7,7	1,9	7,7
Irrigação de Jusante	1º	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	86,5	65,4	63,5	75,0	94,2
	2º	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	88,5	73,1	65,4	75,0	96,2

Figura 8.96 - Falhas isoladas no atendimento as demandas de irrigação.



Pelos resultados apresentados na Tabela 8.60 e na Figura 8.93, o sistema não apresentou falhas para o suprimento das demandas de abastecimento e piscicultura, em razão das prioridades impostas para tais demandas. Entretanto, para as demandas de irrigação foram observados percentuais muito altos de falhas, referente às irrigações ao longo do rio Piancó na parte a jusante do sistema. Para as demandas das Várzeas de Sousa no 1º ano, do horizonte de planejamento, o sistema não apresentou falha. No 2º ano do horizonte de projeto, foram observadas falhas com percentuais não aceitáveis, nos meses de novembro a abril, considerando o valor estabelecido neste estudo, menor ou igual a 10%.

Como consideração final observou-se que, para o início da operação do sistema com os reservatórios na cota do canal de ligação, as demandas de irrigação somente seriam atendidas para as *Várzeas de Sousa*, no primeiro ano do planejamento, com sérios riscos de falha do sistema no 2º ano de planejamento. Estes resultados são referentes às condições de

zoneamentos hidrológicos, prioridades e cotas mínimas de operação dos reservatórios estabelecidos para esta concepção hídrica do sistema, iniciando a operação do mesmo na zona hidrológica inferior (ZHI), no mês de agosto.

8.2.3.2.2 – FALHAS CONTÍNUAS

As análises de falhas isoladas anteriormente avaliadas permitiram obter as chances de ocorrência de falha num determinado mês para atendimento de uma referida demanda, não permite avaliação mais detalhada da mesma. Entretanto, para uma avaliação mais precisa do impacto que a mesma causaria sobre o sistema é preciso analisar a sua extensão. Nesta seção, as falhas serão caracterizadas através das análises dos indicadores *i*, *ii* e *ij*, definidos na Seção 7.3.2, para cada demanda e em função das concepções hídricas estabelecidas para o sistema estudado.

A – O SISTEMA COMO ÚNICO RESERVATÓRIO

Nesta concepção hídrica do sistema foram avaliadas inicialmente as falhas contínuas para durações superiores ou iguais a 2 meses, com ocorrência no mês, no período e pelo menos a ocorrência de uma falha, definidos na Seção 7.3.2, em cada mês do horizonte de planejamento, para as demandas de abastecimento urbano, piscicultura e irrigação. No caso de irrigação, considerou-se a demanda total de jusante: Várzeas de Sousa e irrigações ao longo do rio Piancó, composto pelo perímetro Piancó I e irrigações pontuais. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 8.61 e 8.62, para as demandas de abastecimento e irrigação e, nas Figuras 8.97 e 8.98, os percentuais de falhas contínuas de irrigação para o 1º e 2º anos do planejamento, respectivamente.

Os resultados apresentados nas Tabelas 8.61 e 8.62 mostraram que, para o atendimento das demandas de abastecimento e de piscicultura, o sistema somente teria condições de supri-las até o volume inicial do reservatório de 70% da sua capacidade máxima. As falhas consecutivas observadas nos meses de março e abril, estariam dentro dos percentuais aceitáveis para tais demandas. Estes resultados são indicadores da resposta do sistema as prioridades estabelecidas no estudo para o atendimento das referidas demandas

Tabela 8.61 – Falhas contínuas no atendimento a demanda de abastecimento por mês e por volume inicial do sistema Coremas-Mãe D'Água.

Vol. inicial		ano	Percentual mensal (%)											
(hm ³)	(%)		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1.358,7	100,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.222,8	90,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.086,9	80,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
951,1	70,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0
815,2	60,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
		2º	15,4	19,2	21,2	23,1	25,0	23,1	21,2	13,5	3,9	1,9	3,9	0,0

Tabela 8.62 – Falhas contínuas no atendimento a demanda de piscicultura por mês e por volume inicial do sistema Coremas-Mãe D'Água.

Vol. inicial		ano	Percentual mensal (%)											
(hm ³)	(%)		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1.358,7	100,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.222,8	90,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.086,9	80,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
951,1	70,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0
815,2	60,0	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
		2º	15,4	21,2	21,2	23,1	25,0	23,1	21,2	13,5	3,9	1,9	3,9	0,0

Com relação às demandas de irrigação, os resultados apresentados nas Figuras 8.97 e 8.98 mostraram percentuais de ocorrência de falhas contínuas superiores ao índice aceitável no 2º ano de planejamento, na operação do sistema com volume inicial na sua capacidade máxima. Diante desta constatação, foi realizada uma investigação sobre qual seria a vazão máxima que o sistema poderia fornecer para a irrigação, sem comprometimento das outras demandas, consideradas prioritárias no estudo. O objetivo foi à obtenção do volume mínimo do reservatório capaz de fornecer uma vazão que atendesse as demandas de irrigação do perímetro *Várzeas de Sousa*, com garantia estabelecida pelo estudo. Os resultados das vazões máximas fornecidas pelo reservatório, com as respectivas garantias, por volume inicial do reservatório estão mostrados na Tabela 8.63.

Figura 8.97 - Falhas contínuas no atendimento a demanda de irrigação no 1º ano de planejamento

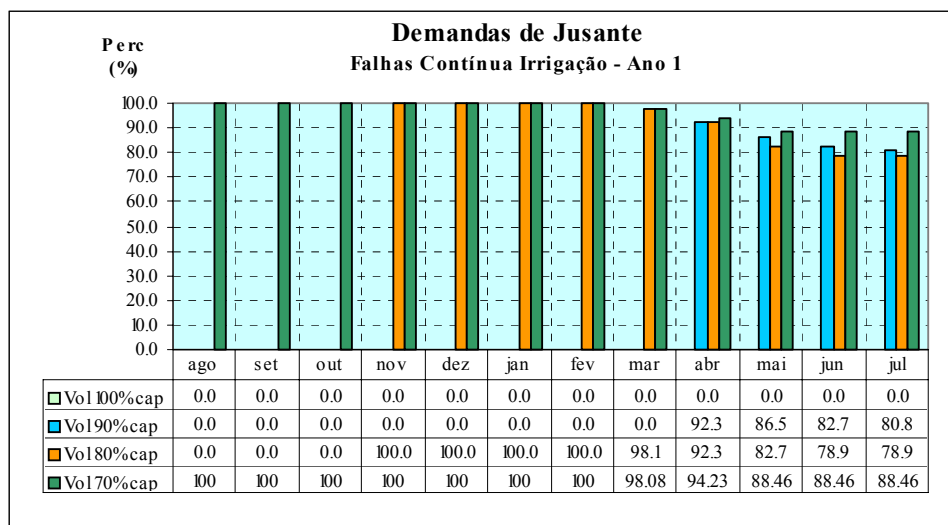


Figura 8.98 - Falhas contínuas no atendimento a demanda de irrigação no 2º ano de planejamento

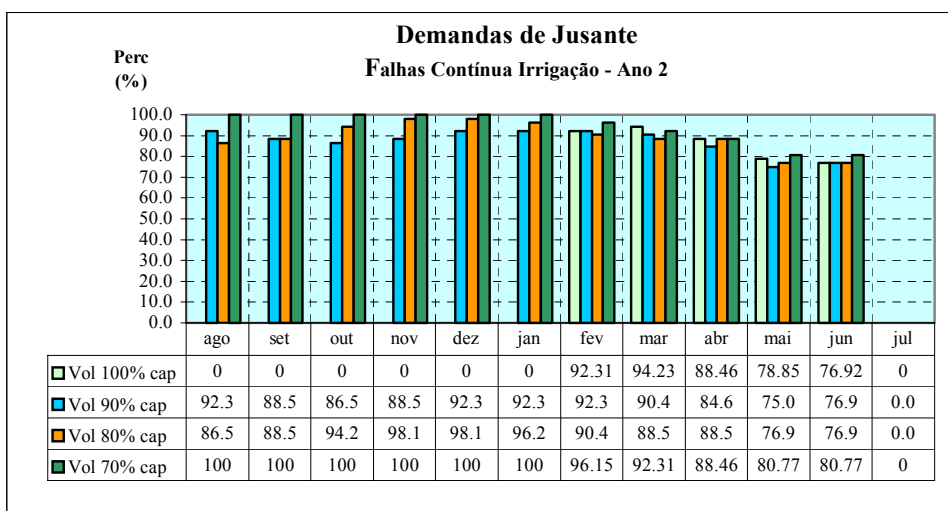


Tabela 8.63 – Vazões máximas fornecidas pelo sistema para a irrigação em função do volume inicial

Volume Inicial do reservatório		Custo para o atendimento as demandas			Vazão Máxima (m³/s)	Garantia (%)
(hm³)	(%)	Abastecimento	Piscicultura	Irrigação		
1.358,7	100	0	300	500	5,5	98,1
1,222,8	90	0	300	600	4,5	94,2
1.086,7	80	0	300	700	2,0	96,2

Os resultados apresentados na Tabela 8.63 mostraram que, para o início da operação do sistema no mês de agosto, com o volume inicial superior ou igual a 70% da sua capacidade

máxima, dentro do horizonte de planejamento estabelecido e nas condições de operação estabelecidas para o estudo, o mesmo atenderia a demanda de $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ para as *Várzeas de Sousa* e ainda, poderia fornecer uma vazão de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ para as outras demandas de irrigação. Esta vazão daria para suprir, por exemplo, o perímetro Piancó I. Para a operação com o volume inicial de 80% da capacidade, este somente poderia fornecer uma vazão máxima de $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$, metade da demanda considerada para ser transportada pelo *Canal da Redenção* até as *Várzeas de Sousa*.

As chances do sistema chegar ao final do horizonte de planejamento com seu volume igual ou superior aos percentuais de 100%, 90% e 80% da sua capacidade máxima, foram respectivamente, 21,2%, 19,2% e 19,2%. Estes dados são indicativos de que, ao se fornecer tais demandas nas condições de prioridades, zoneamento hídrico e cotas mínimas estabelecidos para esta concepção hídrica do sistema e, ainda, para a série de vazão considerada, o reservatório teria pouca chance de retomar os referidos percentuais de volumes iniciais, no horizonte de planejamento estabelecido.

Ainda no estudo da caracterização das falhas, foram avaliados os indicadores *i*, *ii* e *iii* para cada demanda a ser atendida pelo reservatório. Para as demandas de abastecimento e piscicultura foram analisados estes indicadores a partir dos percentuais de volumes iniciais de 70% e 60% e, no caso das demandas de irrigação, até o volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório. As justificativas são de que, para as demandas de abastecimento e irrigação, as falhas foram verificadas nestes percentuais e para a irrigação, o sistema somente teria sustentabilidade hídrica para o referido percentual, conforme observado em análises anteriores.

Nas Tabelas 8.64 e 8.65 estão os resultados dos percentuais dos indicadores de falhas contínuas em cada mês do horizonte de planejamento, em função dos volumes iniciais do reservatório para as demandas de abastecimento e piscicultura, respectivamente. Nas Figuras 8.99 a 8.103, estão ilustradas as distribuições percentuais dos indicadores de falhas para o horizonte de planejamento, em função dos percentuais de volumes iniciais do reservatório.

Os resultados dos indicadores de falhas apresentados nas Tabelas 8.64 e 8.65 e também as Figuras 8.99 a 8.103 confirmaram as observações realizadas anteriormente de que, a sustentabilidade hídrica do sistema para atendimento das demandas de abastecimento e piscicultura somente seria alcançada para o volume inicial superior ou igual a 70% da sua capacidade máxima. Para as demandas de irrigação o sistema apresentou falhas superiores a 90%, no 2º ano de planejamento, mesmo iniciando a sua operação na sua capacidade máxima, indicando a não sustentabilidade hídrica do referido sistema no atendimento da demanda total

de irrigação. Neste caso, teria que se definir prioridades para o atendimento das demandas de irrigação: Várzeas de Sousa e as irrigações ao longo do rio Piancó. Na concepção hídrica, considerou-se a repartição desta, estabelecendo para cada reservatório percentuais das demandas de irrigação. Esta situação será analisada na concepção hídrica do sistema como dos reservatórios interligados, descrita no item B, desta seção.

Tabela 8.64 – Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de abastecimento, em função do volume inicial do sistema

Tipo de Falha	ano	Percentual mensal (%)											
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Volume inicial de 70% da capacidade													
No Mês	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	3,9	1,9	0,0
No Período	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,3
Pelo menos uma falha	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	3,9	3,9	3,9
Volume inicial de 60% da capacidade													
No Mês	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
	2º	15,4	19,2	21,2	23,1	25,0	25,0	26,9	26,9	15,4	5,8	3,9	5,8
No Período	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6
	2º	1,8	3,0	4,2	5,4	6,6	7,6	8,6	9,5	9,8	9,6	9,4	9,2
Pelo menos uma falha	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
	2º	15,4	19,2	21,2	23,1	25,0	25,0	28,9	32,7	34,6	36,5	36,5	36,5

Tabela 8.65 – Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de piscicultura, em função do volume inicial do sistema

Tipo de Falha	ano	Percentual mensal (%)											
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Volume inicial de 70% da capacidade													
No Mês	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,0
No Período	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0
Pelo menos uma falha	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Volume inicial de 60% da capacidade													
No Mês	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
	2º	15,4	21,2	21,2	23,1	25,0	25,0	26,9	28,9	15,4	5,8	3,9	7,7
No Período	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6
	2º	1,8	3,2	4,4	5,5	6,7	7,7	8,7	9,7	10,0	9,8	9,5	9,5
Pelo menos uma falha	1º	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,8
	2º	15,4	21,2	21,2	23,1	25,0	25,0	28,9	34,6	36,5	38,5	38,5	38,5

Figura 8.102 - Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação no 1º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade.

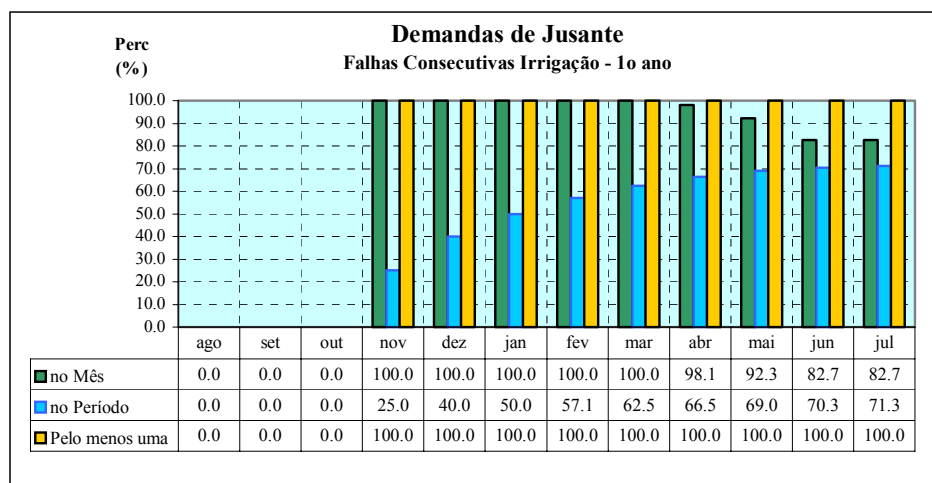
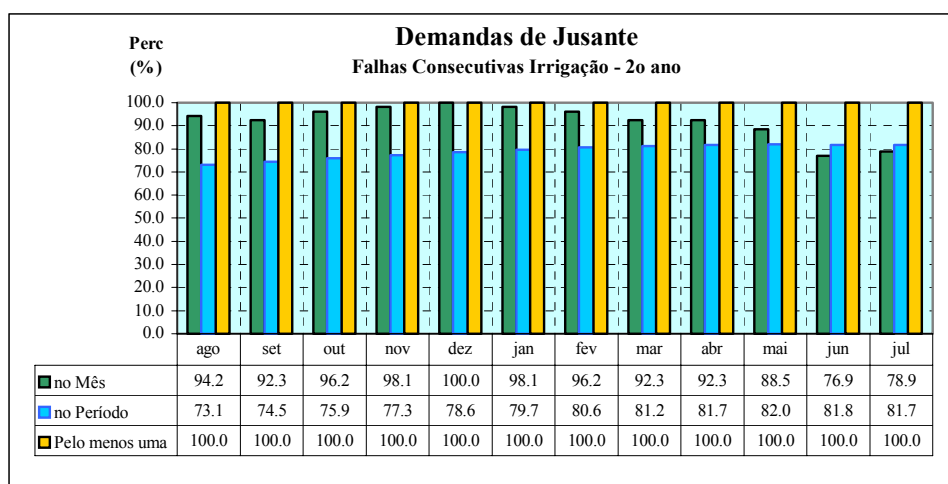


Figura 8.103 - Percentuais dos indicadores de falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade.



Ainda no estudo das falhas consecutivas foram analisadas as extensões das falhas ao longo do horizonte de planejamento, para cada demanda do sistema. Nas Figuras 8.104 e 8.105, estão representadas os percentuais de falhas por duração, ao longo do 2º ano do horizonte de planejamento, para as demandas de abastecimento e piscicultura, respectivamente. Nas Figuras 8.106 a 8.109 estão mostradas as distribuições percentuais de falhas para o atendimento as demandas de irrigação.

Figura 8.104 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de abastecimento, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 60% da capacidade.

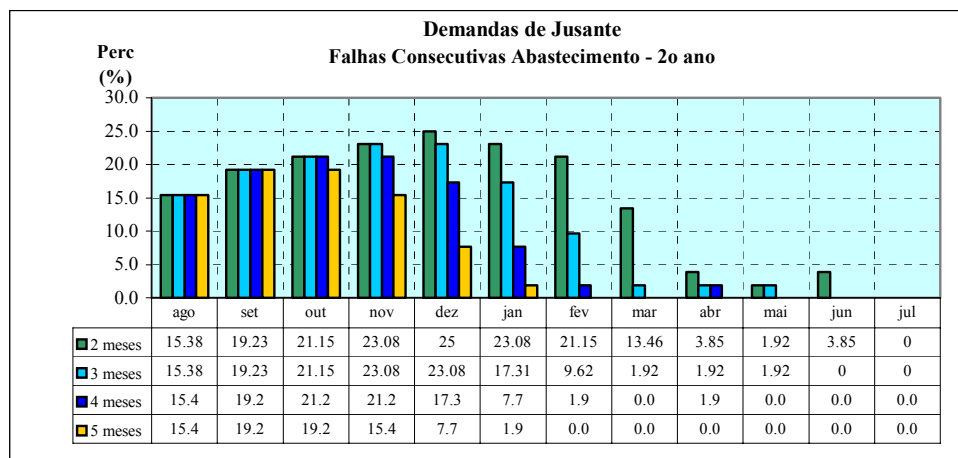


Figura 8.105 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de piscicultura, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 60% da capacidade.

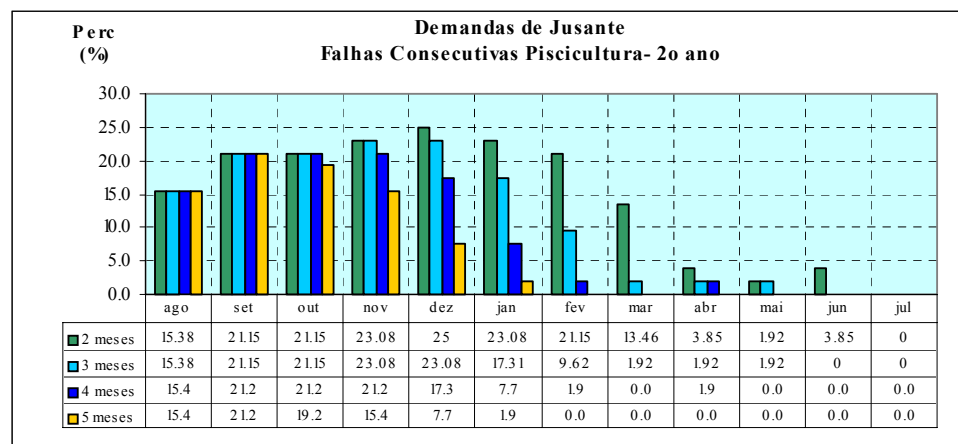


Figura 8.106 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 100% da capacidade.

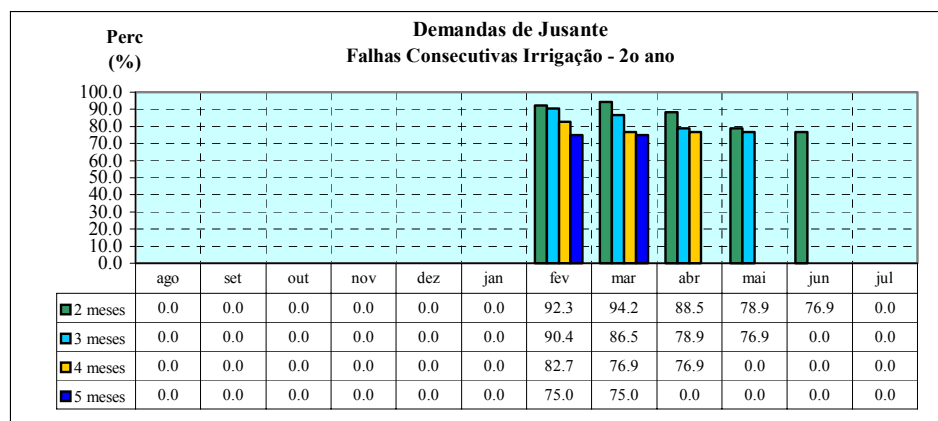


Figura 8.107 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 90% da capacidade.

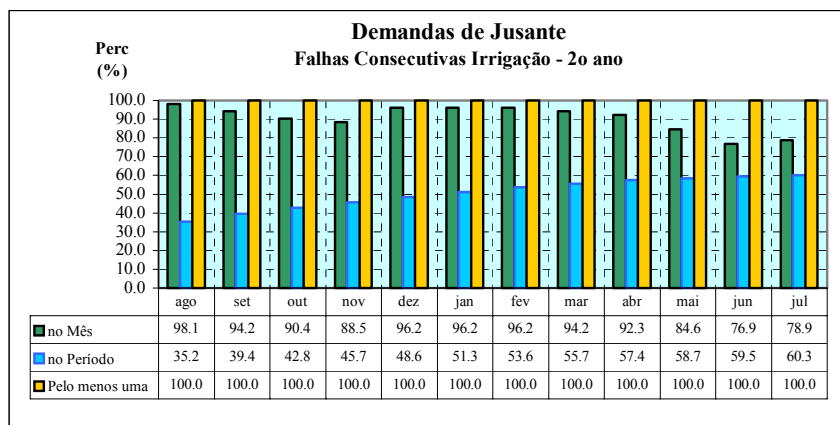


Figura 8.108 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 1º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade.

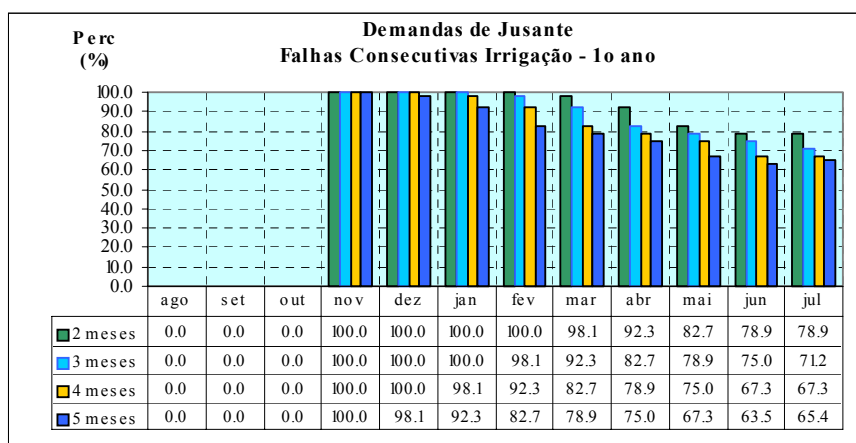
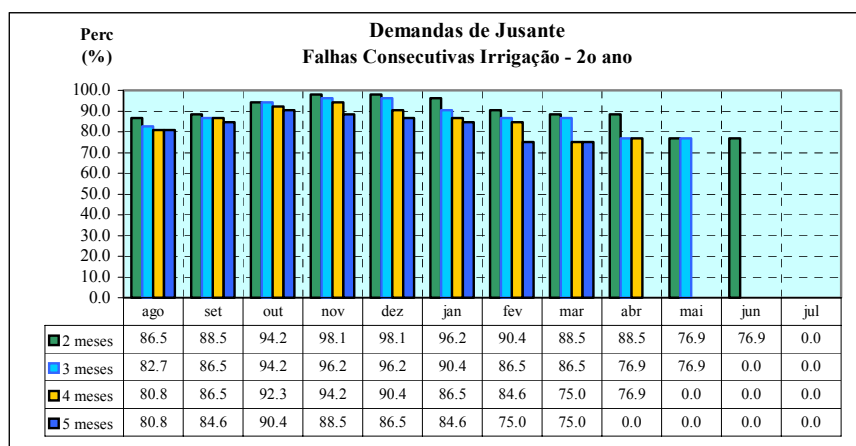


Figura 8.109 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para a demanda de irrigação, no 2º ano de planejamento e volume inicial do sistema de 80% da capacidade.



Os resultados apresentados nas Figura 8.104 e 8.105 mostraram que, para o suprimento das demandas de abastecimento urbano e piscicultura, o sistema com o volume inicial de 60% da sua capacidade, apresentou falha consecutiva de 5 meses de duração, entre os meses de agosto e janeiro, no 2º ano de planejamento. Os maiores percentuais de falhas consecutivas foram observados nos meses de novembro e dezembro no mesmo horizonte de planejamento.

As análises com relação ao atendimento das demandas de irrigação feitas a partir da distribuição percentual de falhas apresentadas nas Figuras 8.106 a 8.109, levaram as seguintes considerações:

- Para o atendimento da demanda total de irrigação haveria falha no reservatório de até 5 meses consecutivos, com percentual de 75%, nos meses de fevereiro e março, no 2º ano de operação, mesmo iniciando a operação do sistema na capacidade máxima. Este resultado mostra que, mesmo no período chuvoso da região, o sistema não teria sustentabilidade hídrica para ao atendimento da demanda total de irrigação para os dois anos de horizonte de planejamento estabelecidos para o estudo;
- Para a operação do reservatório iniciando com o volume de 90% da capacidade, haveria falhas consecutivas de até 5 meses de duração entre os meses de abril a julho, com percentuais variando entre 81% e 65%, no 1º ano de planejamento. No 2º ano, as falhas com a mesma duração se estenderiam do mês de agosto até março, com percentuais inicialmente de 83%, caindo até 75% no mês de março; e
- Para a operação do reservatório iniciando com o volume de 80% da capacidade, haveria falhas com duração de até 5 meses, com probabilidade de 100%, já no 1º ano do horizonte de planejamento, inviabilizando qualquer pretensão de alocação da demanda requerida para tal finalidade, neste cenário.

Como análise final do sistema para a concepção hídrica como único reservatório, ou seja, o sistema operando somente na Zona Hidrológica Superior (ZHS), pode-se observar que a alocação de água do sistema para atendimento da demanda total de irrigação de jusante foi inviabilizada pela não sustentabilidade hídrica do mesmo em todos os percentuais de volumes iniciais analisados considerando o horizonte de planejamento de dois anos. Diante desta constatação, para o caso de suprimento das demandas de irrigação, teria que se definir

priorizações no atendimento desta, avaliando o potencial de produção (desenvolvimento sustentável), advindas dos perímetros em questão: *Várzeas de Sousa*, *Piancó I* e as *irrigações ao longo do rio Piancó*, a partir dos resultados de vazões máximas regularizáveis pelo sistema apresentados na Tabela 8.63.

B – O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

Nesta segunda concepção hídrica do sistema, considerou-se a repartição das demandas para irrigação, estabelecendo para os reservatórios Coremas e Mãe D'Água, os respectivos percentuais. Este caso foi possível pela própria concepção dada ao sistema, onde os reservatórios foram analisados separadamente, sendo interligados por um canal, operando na parte inferior, simultaneamente para atendimento das suas respectivas demandas.

As falhas também foram avaliadas para os mesmos indicadores e parâmetros estabelecidos para na primeira concepção hídrica do sistema analisado no item A desta seção. Neste estudo, o sistema foi operado de forma que não houvesse falha no atendimento das demandas urbanas e de piscicultura, priorizadas no estudo. Portanto, neste item, serão apenas analisadas as falhas de atendimento das demandas de irrigação, considerando a sub-divisão em: demandas das *Várzeas de Sousa* e demandas para *irrigação ao longo do rio Piancó*, na parte de jusante do sistema.

Os resultados das falhas consecutivas para as demandas de irrigação estão representados nas Figuras 8.110. Os percentuais dos indicadores de falhas para a irrigação de Jusante e para as *Várzeas de Sousa* estão representados na Figura 8.111 e 8.112, respectivamente e, na Figura 8.113, os percentuais de duração das falhas para as demandas do perímetro *Várzeas de Sousa*.

As análises dos resultados apresentados pelos gráficos das Figuras 8.110 a 8.113 revelaram as seguintes considerações, com relação ao atendimento do sistema as demandas de irrigação:

1. O sistema somente apresentaria sustentabilidade hídrica para o atendimento das demandas de irrigação do perímetro *Várzeas de Sousa* ($4,0 \text{ m}^3/\text{s}$), no 1º ano do horizonte de planejamento;
2. No 2º ano do horizonte de planejamento, os percentuais dos indicadores de falhas analisados neste estudo, revelaram que:

- Os percentuais de falhas no mês (indicador *i*), foram superiores ao índice aceitável para a referida demanda (menor ou igual a 10%), nos meses de novembro a abril;
 - Os percentuais de falhas no período (indicador *ii*), também foram superiores ao no mesmo para os meses de novembro a abril; e
 - Os percentuais de ocorrência de pelo menos uma falha nos meses anteriormente citados (indicador *iii*), estiveram na faixa entre 84,6% e 71,1%. Valores abaixo do nível mínimo aceitável no estudo de 90%; e
3. Ainda no estudo das falhas consecutivas, o gráfico apresentado na Figuras 8.110 mostrou percentual de falha com duração de 5 meses consecutivos entre os meses de agosto a janeiro, com o valor máximo de 13,5%, ocorrido no mês de novembro, no 2º ano do horizonte de planejamento.

Como considerações finais das respostas hídricas do sistema, nesta concepção hídrica, pode-se fazer as seguintes considerações, no tocante ao atendimento das demandas de irrigação:

- Não houve problemas com relação ao atendimento das demandas de abastecimento urbano e nem de piscicultura;
- As demandas totais de irrigação não seriam possíveis de serem atendidas pelo sistema, para as condições estabelecidas nesta concepção hídrica e para o horizonte de planejamento de 2 anos; e

As demandas de irrigação das *Várzeas de Sousa* somente seria atendida pelo sistema, para o nível de garantia adotado neste estudo, para somente um ano do horizonte de planejamento.

Figura 8.110- Distribuição percentual de falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação de jusante e das Várzeas de Sousa, no 1º e no 2º ano de planejamento.

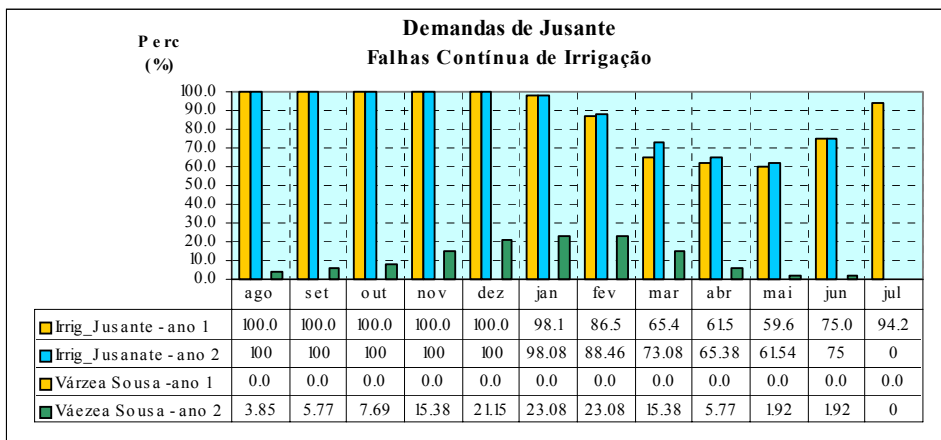


Figura 8.111 - Distribuição percentual de falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação de jusante, no 2º ano de planejamento.

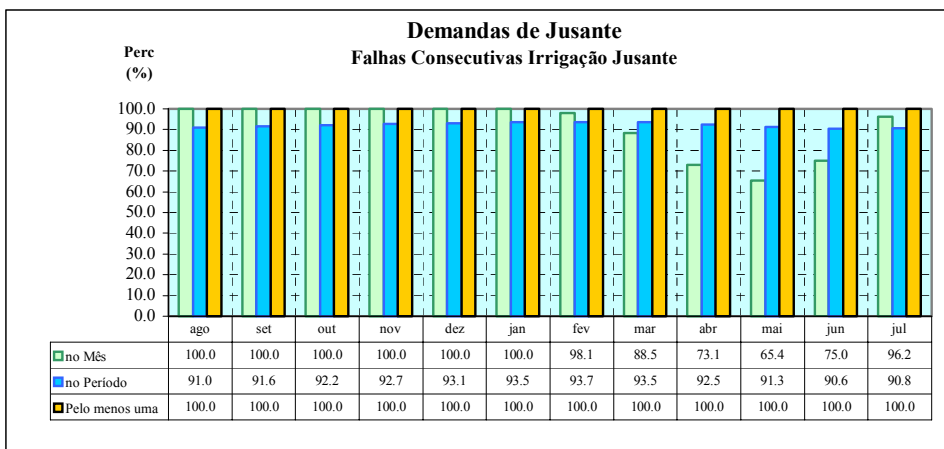


Figura 8.112 - Distribuição percentual de falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação das Várzeas de Sousa, no 2º ano de planejamento.

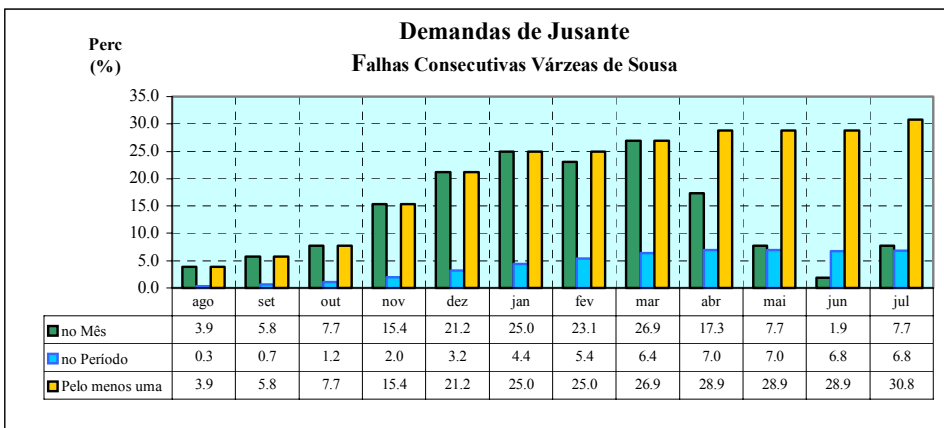
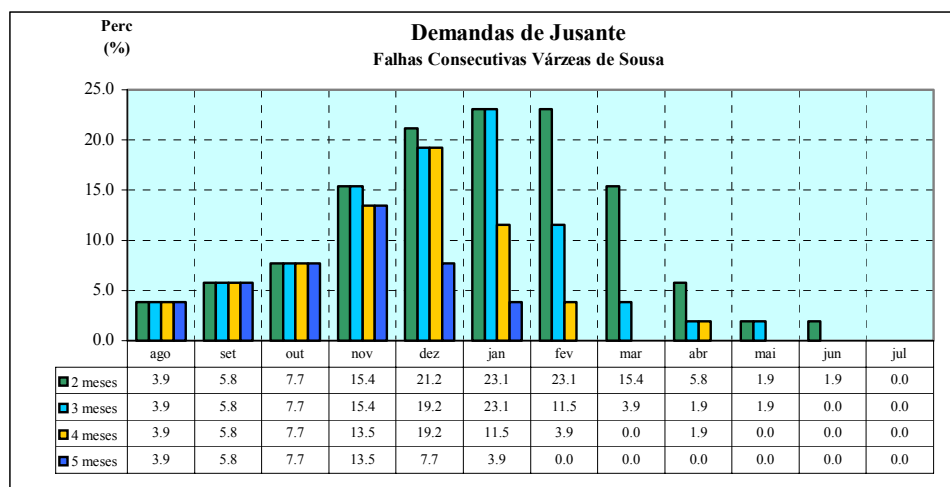


Figura 8.113 - Distribuição percentual de duração das falhas contínuas por mês para as demandas de irrigação das Várzeas de Sousa, no 2º ano de planejamento.



8.2.4 - O SISTEMA COM A TRANSPosição DE ÁGUAS DO SÃO FRANCISCO

8.2.4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conforme descrito no capítulo VII, como última avaliação do comportamento hídrico do sistema Coremas - Mãe D'Água foi realizada uma análise com o aporte de uma vazão de 10 m³/s advinda da transposição do Rio São Francisco, para a bacia estudada. Inicialmente, tal aporte estava previsto para a bacia do Rio Piancó, através do eixo Norte (Figura 8.114) tendo o sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água com corpo hídrico receptor dessa vazão. Estudos posteriores redirecionaram a vazão de transposição do referido eixo, tendo a nova entrada proposta pela Bacia do Alto Piranhas. As razões dessa decisão fogem ao escopo deste trabalho. Nesta seção, a pesquisa buscou avaliar e quantificar os benefícios trazidos por este aporte à bacia estudada, no somente do ponto de vista hídrico, mas também econômico, advindo da ativação de irrigação da área potencial dos perímetros de montante desse sistema, cujo suprimento hídrico atual, de acordo com as análises anteriormente realizadas.

Na avaliação do sistema com a transposição foram consideradas as mesmas condições de zoneamento dos reservatórios, de volumes mínimos e de prioridades de atendimento as demandas, estabelecidas no estudo anterior. Considerou-se também, nesta avaliação, as duas concepções hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, ou seja, o sistema como um único operado na Zona Hidrológica Inferior (ZHI) e também na Zona Hidrológica superior (ZHS). Nestes casos, foram avaliadas as respostas do sistema para os percentuais de volumes iniciais críticos: 60% da sua capacidade máxima, no caso da operação na ZHS e, 48% da capacidade máxima, operando o sistema na ZHI. Para esses dois sistemas foram analisadas as curvas de

permanência dos volumes, os volumes finais nos reservatórios e os volumes mínimos ao final do 1º e 2º ano do horizonte de planejamento.

Na avaliação final, foi realizada uma análise comparativa do sistema sem e com a referida vazão de transposição, considerando os aspectos da sustentabilidade hídrica e também com relação ao suprimento do déficit hídrico das demandas de irrigação, particularmente, as demandas de perímetros: Piancó e Várzeas de Sousa.

8.2.4.2 - O SISTEMA COMO UM ÚNICO RESERVATÓRIO

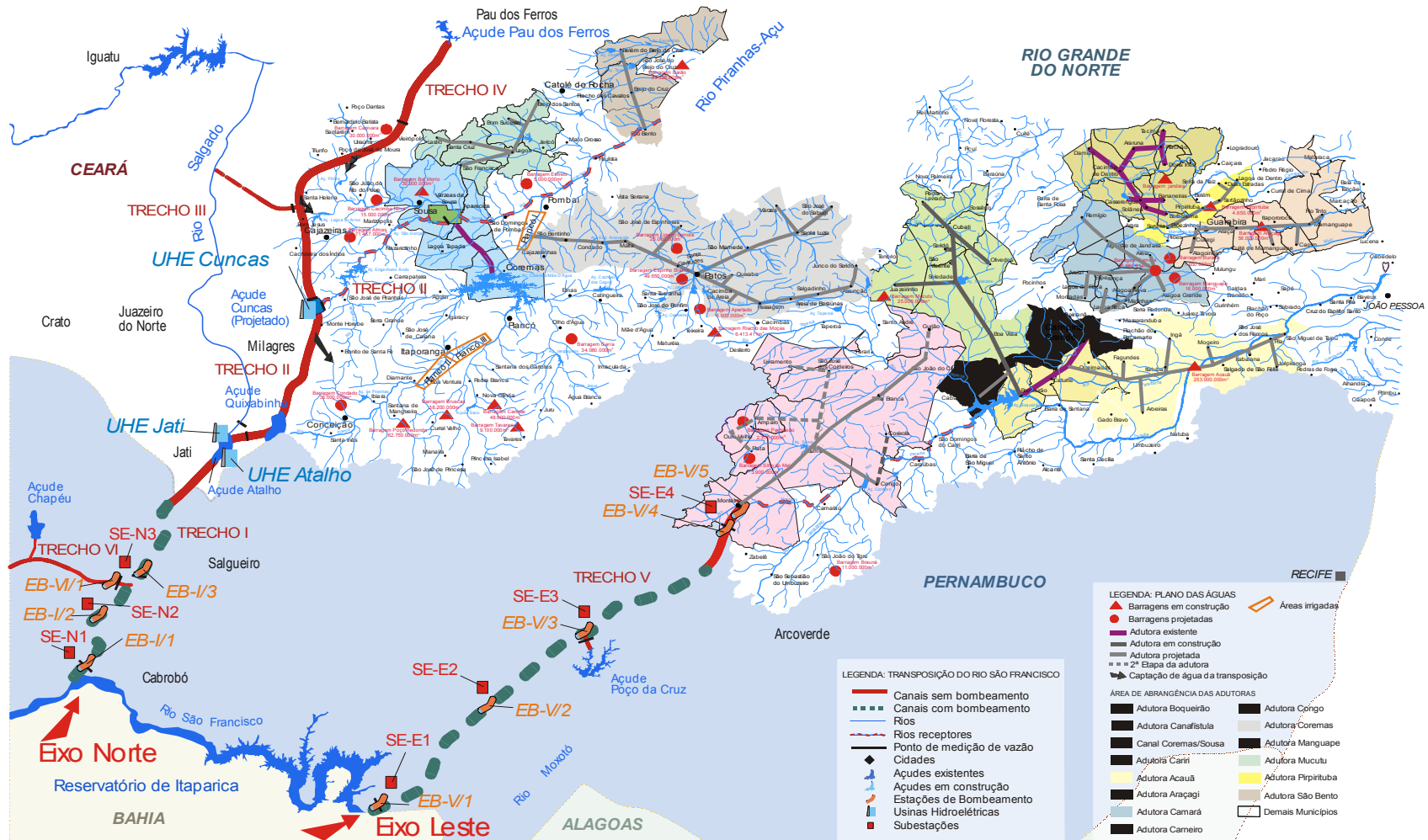
O esquema para simulação no MODSIM P32, para o sistema nesta concepção hídrica, operando somente a parte superior dos reservatórios, está representado na Figura 7.31. O sistema foi simulado com o volume inicial do sistema de 60% da sua capacidade máxima, no horizonte de planejamento estabelecido no estudo.

8.2.4.2.1 – CURVA DE PERMANÊNCIA

Na Figura 8.114 estão representadas as curvas de permanência dos volumes no final do 1º e 2º anos do horizonte de planejamento, da qual, pode-se fazer as seguintes análises:

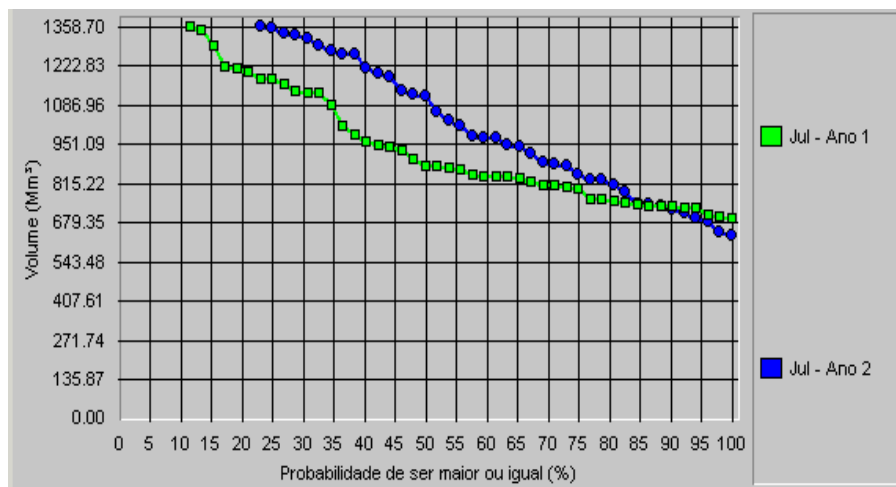
- O sistema apresentou melhor desempenho hídrico, ao final do período do 2º ano de planejamento, com probabilidade de volumes maiores, na faixa de 23% a 83%. Para percentuais entre 80 e 100%, o melhor desempenho foi observado no 1º ano do planejamento;
- Para probabilidade de 100%, o volume final foi maior no 1º ano, com valor de 693,8 hm³, contra 630,2 hm³ no 2º ano de planejamento;
- A probabilidade do reservatório chegar ao final do período com a capacidade máxima foi superior no 2º ano, com o valor de 25% contra 13,5% do 1º ano de planejamento; e
- A probabilidade do volume ser maior ou igual ao volume inicial foram: para o 1º ano 67,3% e no 2º ano de planejamento 78,9%, superando em 10,6% as chances de sucesso.

Figura 8.114 – Transposição de águas do Rio São Francisco, com os dois eixos de entradas no Estado da Paraíba.



Fonte: Secretaria Extraordinária de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais - SEMARH

Figura 8.115 – Curvas de permanência do sistema como único reservatório para o volume inicial igual a 60% da capacidade no 1º e no 2º ano de planejamento.



8.2.4.2.2 – PROBABILIDADES DOS VOLUMES FINAIS SEREM MAIORES OU IGUAIS AO VOLUMES INICIAIS

Nesta seção foram avaliadas as probabilidades do sistema atingir, ao final do período do 1º e 2º anos do horizonte de planejamento seu volume inicial, considerado como 60% da sua capacidade máxima. Os resultados estão apresentados no gráfico da Figura 8.116, na qual observa-se que, as probabilidades de volumes finais serem maior ou igual ao volume inicial são maiores no 2º ano de planejamento, com valores máximos a partir do início do período chuvoso na região.

8.2.4.2.3 – PROBABILIDADES DE ATINGIREM SEUS VOLUMES MÍNIMOS

Nesta seção são avaliadas as probabilidades do sistema atingir o volume mínimo estabelecido para a operação do mesmo, ou seja, avaliação da ocorrência de falhas do sistema no atendimento as demandas de jusante, ao final de cada período do horizonte de planejamento. Os resultados apresentados no gráfico de probabilidades da Figura 8.117.

As probabilidades do reservatório atingir o volume mínimo, segundo os dados apresentados na Figura 8.117, foram pequenas, com valor zero no 1º ano e, no 2º ano de planejamento, o sistema apresentou um valor máximo de 5,8% no mês de abril.

Figura 8.116 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no sistema no 1º e no 2º ano de planejamento.

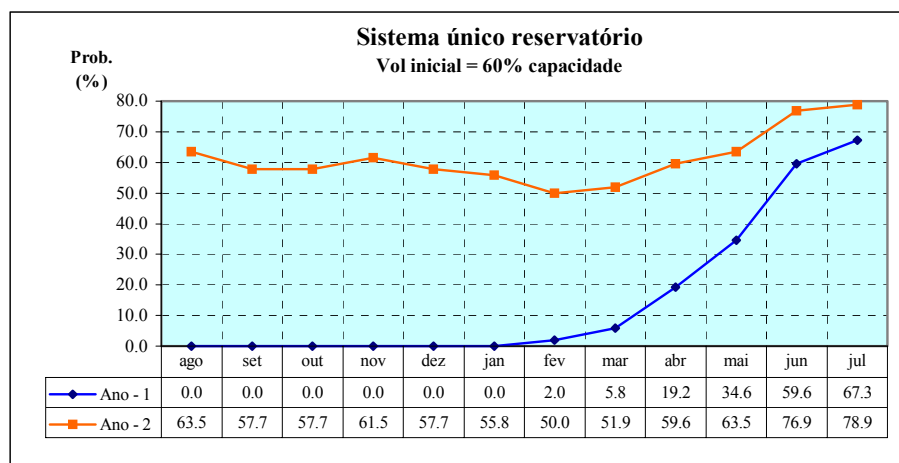
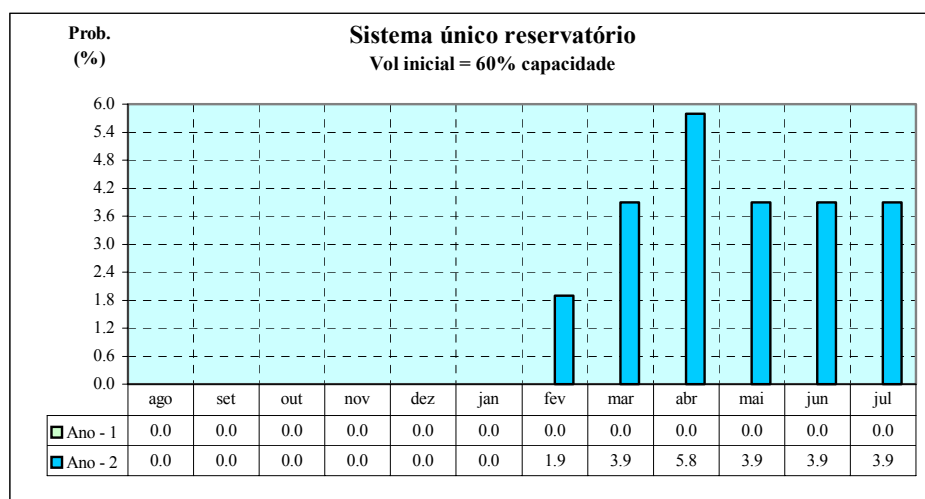


Figura 8.117 – Probabilidades do sistema como único reservatório atingir o volume mínimo, no 1º e no 2º ano de planejamento.



8.2.4.3 - O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

O esquema para simulação no MODSIM P32, para o sistema nesta concepção hídrica está representado na Figura 7.31. Ressalta-se que nesta concepção, o sistema iniciou sua operação na parte inferior dos reservatórios (ZHI), que corresponde a 48% da sua capacidade máxima, com transferência de água apenas do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água. As análises serão as mesmas para os parâmetros considerados na seção anterior.

8.2.4.3.1 – CURVA DE PERMANÊNCIA

As curvas de permanências obtidas das simulações do sistema nesta concepção hídrica, foram obtidas com os reservatórios iniciando na cota do canal de ligação entre eles. Para o reservatório Coremas, apresentadas na Figura 8.118, o volume inicial foi de 373,0 hm³ e para o reservatório Mãe D'Água, representadas na Figura 8.119, o volume inicial foi de 283,7 hm³.

Figura 8.118 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Coremas para o mês de julho no 1º e no 2º ano de planejamento.

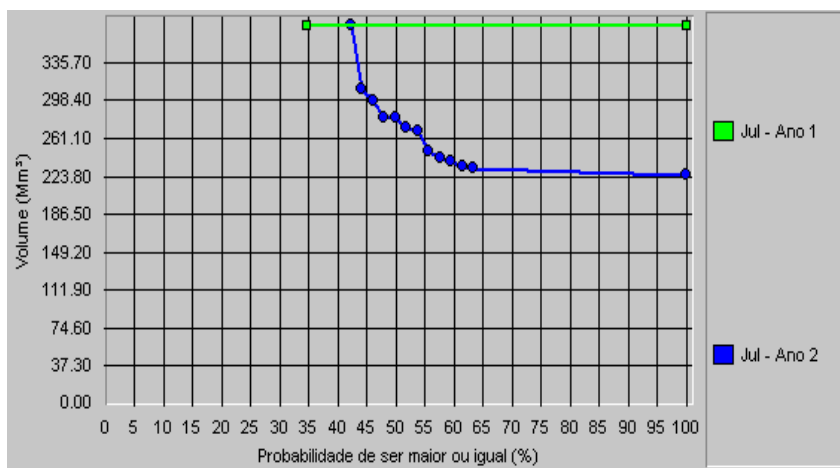
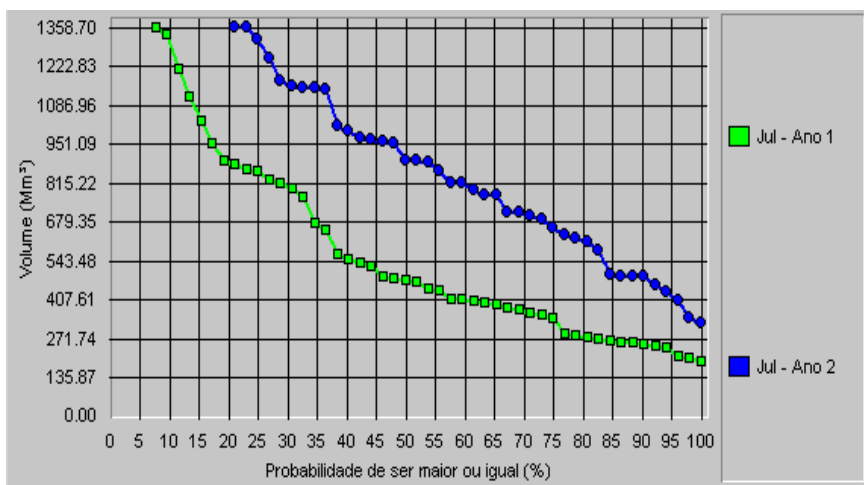


Figura 8.119 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água para o mês de julho no 1º e no 2º ano de planejamento.



As análises das curvas de permanência dos volumes finais nos reservatórios apresentadas na Figuras 8.118 e 8.119, mostraram as seguintes observações:

1. Reservatório Coremas:

- O melhor desempenho hídrico deste reservatório foi observado no 1º ano de planejamento, com 100% de probabilidade de chegar ao final do período com sua capacidade máxima; e
- No 2º ano de planejamento, a probabilidade caiu para 43%;

2. Reservatório Mãe D'Água:

- Para este reservatório, o melhor desempenho hídrico foi observado no 2º ano de planejamento, com maiores chances de chegar ao final do período com volumes maiores em todas as faixas de probabilidade;
- Para probabilidade 100%, o volume final (no mês de julho) foi superior no 2º ano, com o valor 321,6 hm³, contra 193,0 hm³ no 1º ano de planejamento; e
- A probabilidade do sistema chegar ao final do período com sua capacidade máxima foi maior no 2º ano, com valor de 21,2% contra 7,7% no 1º ano de planejamento.

8.2.4.3.2 – PROBABILIDADES DOS VOLUMES FINAIS SEREM MAIORES OU IGUAIS AO VOLUMES INICIAIS

Nas figuras 8.120 e 8.121 estão representadas as curvas de probabilidades dos volumes finais nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, respectivamente, de atingirem ou superarem seus volumes iniciais, no 1º e 2º ano do horizonte de planejamento. As análises das curvas de probabilidades dos reservatórios apresentadas nas referidas figuras, mostraram as seguintes observações:

1. Reservatório Coremas:

- Maiores probabilidades de volumes finais superiores ou iguais ao volume inicial no 1º ano de planejamento, com valor constante igual a 100%;

- Os percentuais formam menores no período chuvoso, no 2º ano de planejamento devido ao fato desse reservatório ter fornecido mais água para o reservatório Mãe D'Água;
- No 2º ano do planejamento, a probabilidade do reservatório de atingir seu volume inicial cai a partir do mês de março, passando de 100% para 42,3% ao final de julho, tendo alcançado o valor mínimo no referido mês de 34,5%.

2. Reservatório Mãe D'Água

- Apresentou melhor desempenho no 2º ano do que no 1º ano de planejamento, com valores de 100% a partir de março até o final do período; e
- No 1º ano, a probabilidade passou de zero para 76,9% ao final do período. Esse aumento se deve em parte, a transferência de água do reservatório Coremas para este reservatório, devido ao incremento de água da transposição.

8.2.4.3.3 – PROBABILIDADES DE ATINGIREM SEUS VOLUMES MÍNIMOS

Em nenhum dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água foram registradas probabilidades de atingirem seus volumes mínimos com a transposição, no horizonte de planejamento estudado.

8.2.5 - ANÁLISE COMPARATIVA DO SISTEMA COM E SEM A TRANSPOSIÇÃO

Nesta seção serão comparados os resultados obtidos com o sistema na situação atual e com o afluxo da vazão de 10m³/s advindo da transposição do Rio São Francisco. Nas análises serão enfocados os benefícios advindos desta transposição sob dois aspectos: *a sustentabilidade hídrica do sistema Coremas-Mãe D'Água e a análise sobre o atendimento das demandas de irrigação*. Nesta análise, buscou-se na operação do sistema, a compatibilização entre as demandas de montante e jusante do referido sistema, operando-o nas zonas: ZHS e ZHI. Para as demandas de irrigação, foram analisados isoladamente, o *perímetro Piancó* (a montante) e o *perímetro Várzeas de Sousa* (jusante), cujas justificativas encontra no fato dos altos investimentos já alocados pelo Estado nos referidos empreendimentos.

Figura 8.120 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Coremas para o volume inicial 373,0 hm³ no 1^o e no 2^o ano de planejamento

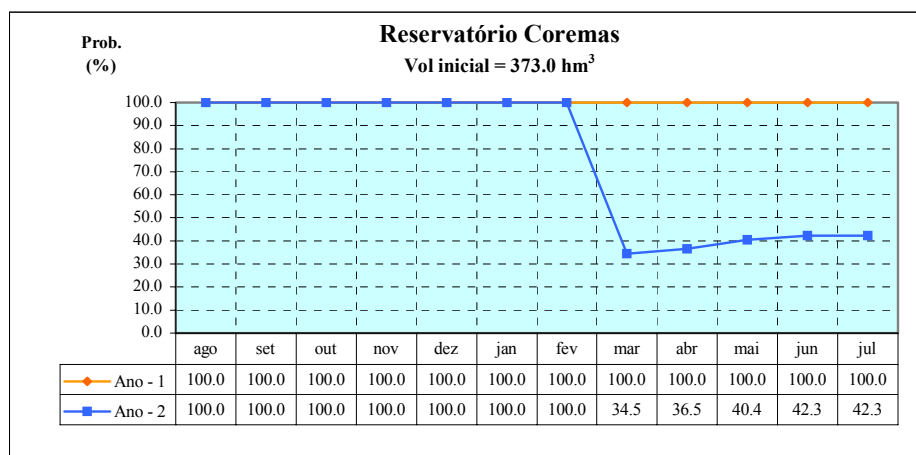
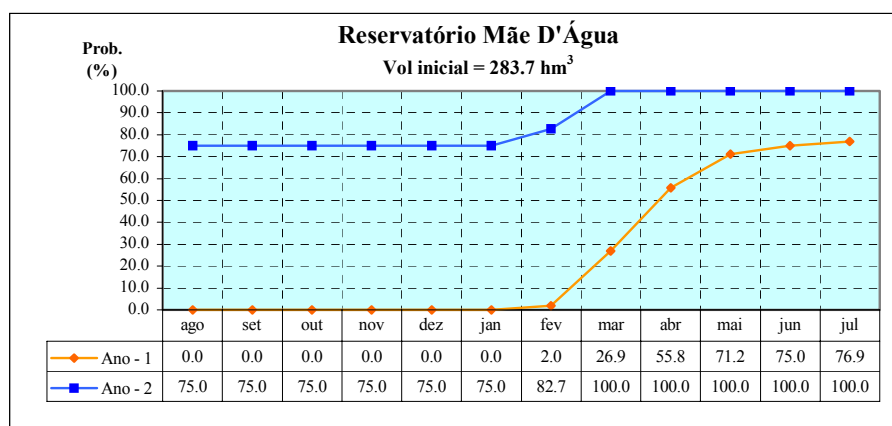


Figura 8.121 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Mãe D'Água para o volume inicial 283,7 hm³ no 1^o e no 2^o ano de planejamento.



8.2.5.1 – SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Serão analisados os mesmos índices e indicadores do sistema nas duas concepções hídricas, descritos no estudo do mesmo sem a transposição. Neste estudo, somente serão avaliadas as respostas do sistema para no caso de único reservatório, com o volume inicial de 60% da capacidade máxima e, para o caso de dois reservatórios, os mesmos com as respectivas capacidades na cota do canal de ligação entre eles. A justificativa se encontra no fato de que esses volumes iniciais foram críticos, apresentando maiores probabilidades de falhas do sistema, conforme observado nos itens anteriores deste estudo.

8.2.5.1.1 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DOS VOLUMES

A - O SISTEMA COMO ÚNICO RESERVATÓRIO

Nas Figuras 8.122 e 8.123 estão representadas as curvas de permanência dos volumes finais com e sem considerar a transposição da vazão do São Francisco, para o 1º e 2º ano do horizonte de planejamento, respectivamente. O sistema foi operado, conforme dito anteriormente, com o volume inicial igual a 60% da sua capacidade máxima.

Figura 8.122 - Curvas de permanência dos volumes no sistema, com e sem a transposição para o mês de julho no 1º ano de planejamento.

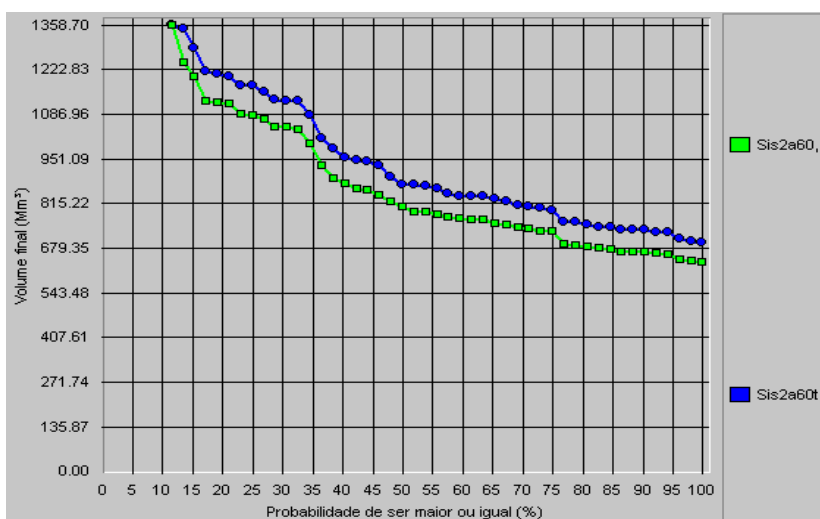
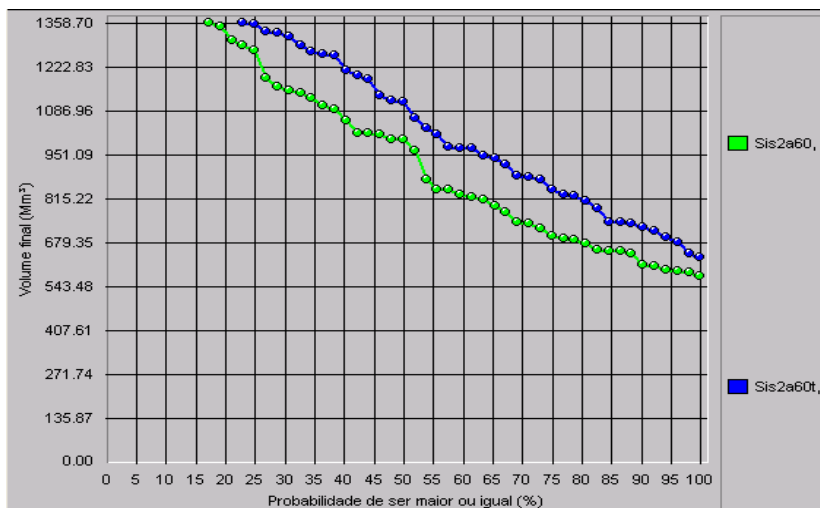


Figura 8.123 - Curvas de permanência dos volumes no sistema, com e sem a transposição para o mês de julho no 2º ano de planejamento.



As análises das curvas de permanência dos volumes finais do sistema mostraram nas Figuras 8.122 e 8.123, mostraram as observações:

- Melhor desempenho hídrico do sistema com a transposição, com percentuais de volumes finais no reservatório maiores em todos os níveis, no 1º e no 2º ano de planejamento;
- Para probabilidade de 100%, o volume no final do período, com a transposição ficou com 57,96 hm³ superior do que sem a transposição, no 2º ano de planejamento; e
- As chances do sistema atingir o volume máximo no final do período do 2º ano foi 5,8% superior do que sem a transposição.

B - O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

Os resultados serão analisados por reservatório, com os mesmos iniciando na cota de ligação do canal entre estes. Neste caso, utilizou o modelo MODSIM P32, com transferência unilateral, reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'Água. As Figuras 8.124 e 8.125 mostram as curvas de permanência dos volumes no reservatório Coremas, com e sem a transposição, no 1º e 2º anos de planejamento, respectivamente. Nas Figuras 8.126 e 8.127 mostram as curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água, com e sem a transposição, no 1º e 2º anos de planejamento, respectivamente.

Figura 8.124 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Coremas, com e sem a transposição para o mês de julho no 1º ano de planejamento.

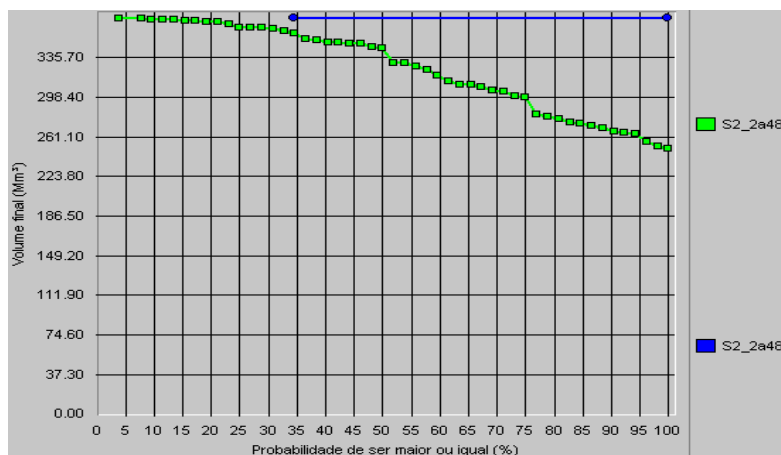


Figura 8.125 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Coremas, com e sem a transposição para o mês de julho no 2º ano de planejamento.

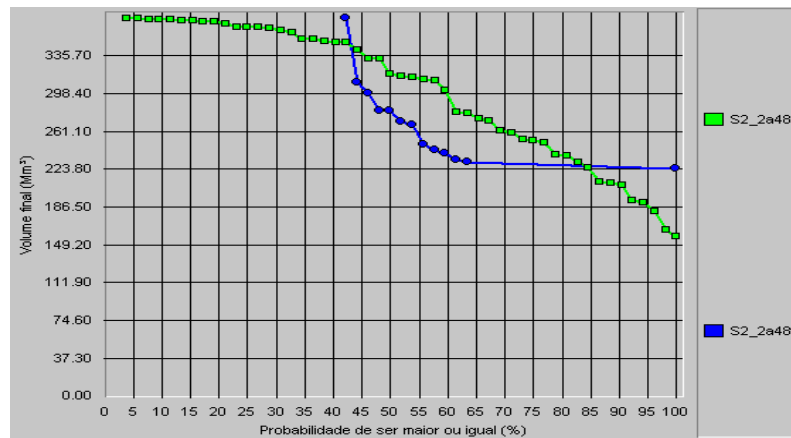


Figura 8.126 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água com e sem a transposição para o mês de julho no 1º ano de planejamento.

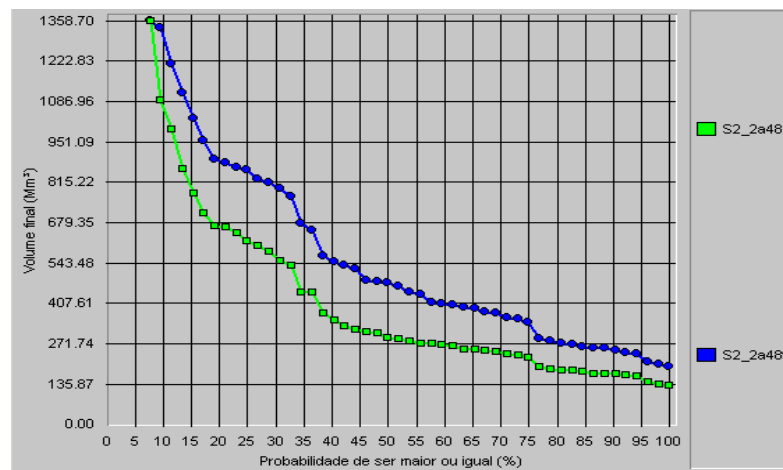
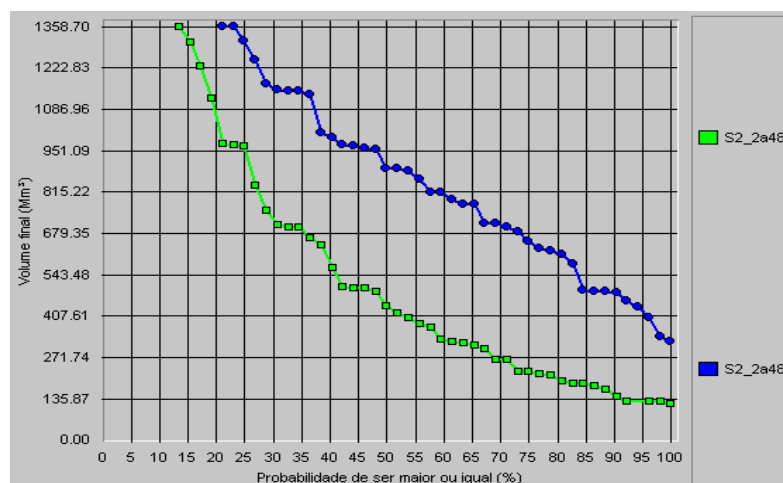


Figura 8.127 – Curvas de permanência dos volumes no reservatório Mãe D'Água com e sem a transposição para o mês de julho no 2º ano de planejamento.



As análises das curvas de permanência dos reservatórios apresentadas na Figuras 8.124 a 8.127 mostraram as seguintes observações:

1. Reservatório Coremas:

- Melhor desempenho hídrico do reservatório com a transposição, podendo atingir seu volume máximo com probabilidade de 40%, no segundo ano do planejamento, contra somente 2% de chances, sem a transposição;
- Para a probabilidade de 100%, os volumes finais no referido reservatório foram: no 1º ano de 123,0 hm³ e, no 2º ano de planejamento de 65,9 hm³ superiores com a transposição; e
- As chances do reservatório atingir o volume máximo no final de cada período com a transposição foram aumentadas em, aproximadamente: 9 vezes no 1º ano e em 11 vezes no 2º ano do horizonte de planejamento.

2. Reservatório Mãe D'Água:

- Melhor desempenho hídrico do reservatório com a transposição, com percentuais de volume finais no reservatório maiores em todos os níveis;
- Para a probabilidade 100%, o volume no final do reservatório, no final do período, foram: de 61,6hm³ no 1º ano e de 203,1hm³ no 2º ano, superiores com a transposição;
- As chances do reservatório atingir o volume máximo no final do período no 1º ano não houve alteração, mantendo o mesmo valor de 7,7% e, no 2º ano foram aumentadas em 1,6 vezes, com a transposição.

8.2.5.1.2 - PROBABILIDADES DOS VOLUMES FINAIS SEREM MAIORES OU IGUAIS AO VOLUMES INICIAIS

A - O SISTEMA COMO ÚNICO RESERVATÓRIO

Nas Figuras 8.128 e 8.129 estão mostradas as curvas de probabilidades dos volumes finais do sistema maiores ou iguais ao volume inicial (60% da sua capacidade máxima), para o 1º e 2º anos de planejamento, respectivamente. As análises das curvas de permanência dos reservatórios apresentadas nas Figuras 8.128 e 8.129 mostraram as seguintes observações:

- O reservatório apresentou maiores chances de atingir seu volume inicial com a transposição, no 1º ano de planejamento a partir do mês de março, chegando ao percentual de 19,2% superior no mês de julho; e
- No segundo ano de planejamento, apresentou maiores probabilidades em todos os meses, com o valor percentual de 19,3% superior ao final do período.

Figura 8.128 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no sistema no 1º ano de planejamento.

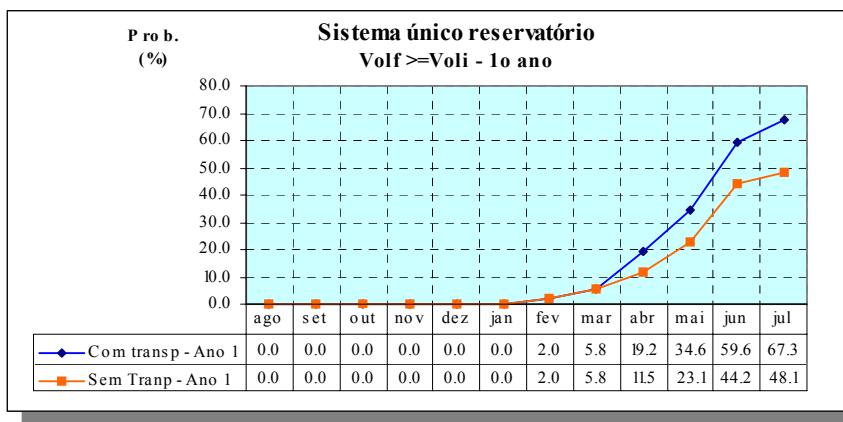
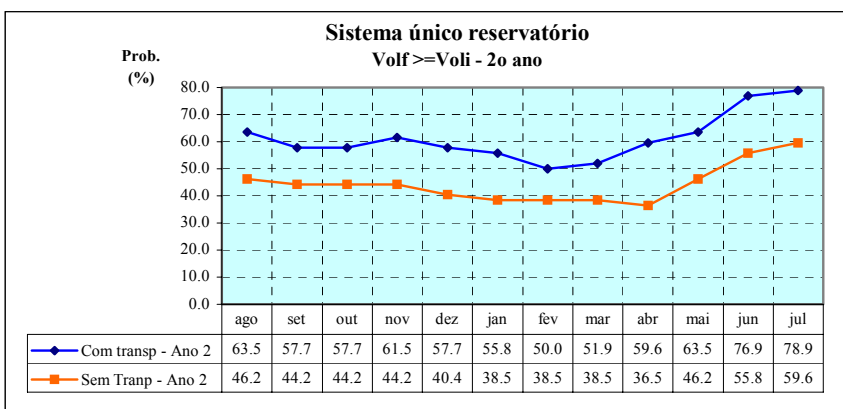


Figura 8.129 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no sistema, no 2º ano de planejamento.



B - O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

Nas Figuras 8.130 e 8.131 estão mostradas as curvas de probabilidades dos volumes finais maiores ou iguais aos volumes iniciais, para o 1º e 2º anos de planejamento, respectivamente, para o reservatório Coremas (volume inicial do sistema igual 373,0 hm³) e, nas Figuras 8.132 e 8.133, as curvas de probabilidades o reservatório Mãe D'Água (volume inicial do sistema igual 283,7 hm³).

Figura 8.130 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Coremas no 1º ano de planejamento.

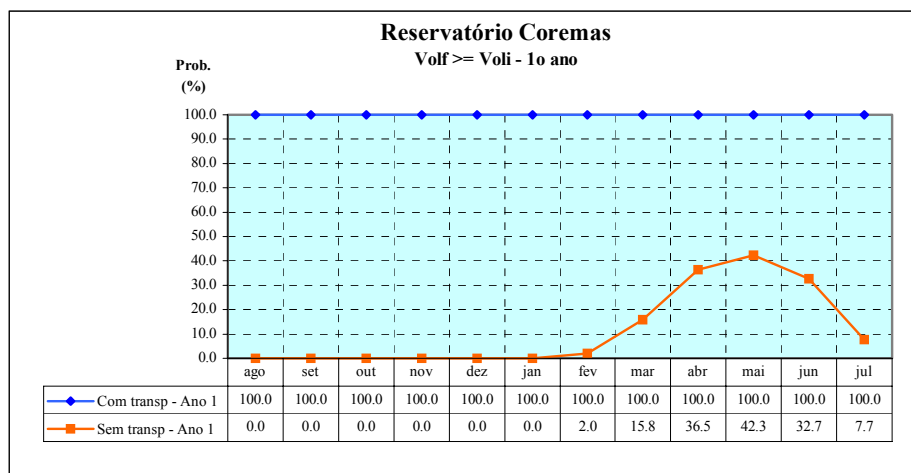


Figura 8.131 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Coremas no 2º ano de planejamento.

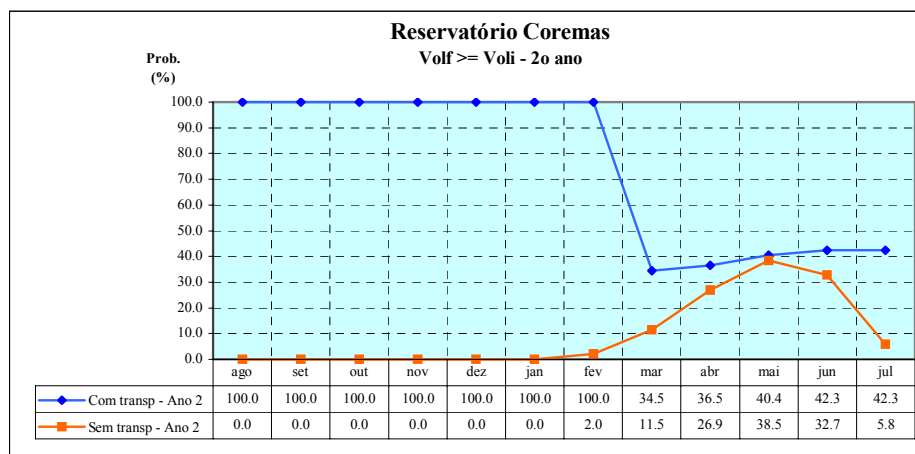


Figura 8.132 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Mãe D'Água no 1º ano de planejamento.

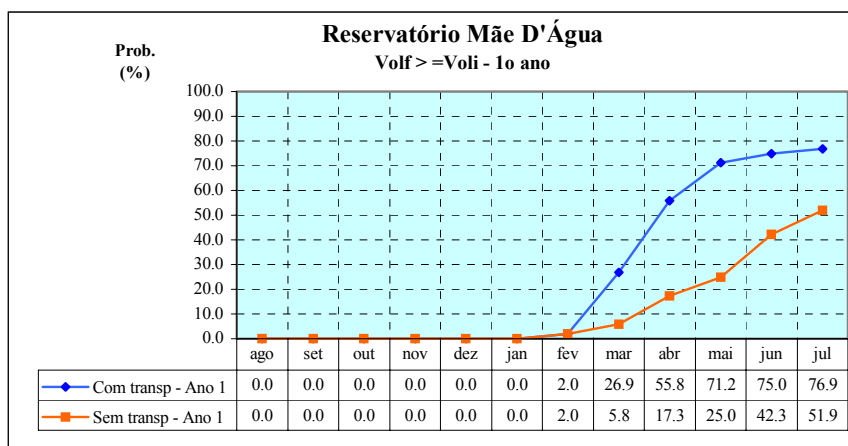
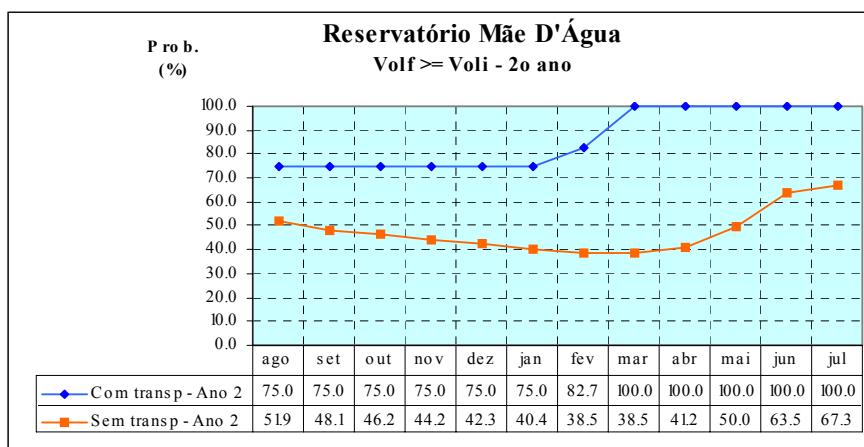


Figura 8.133 – Curvas de probabilidades de volumes iguais ou superior ao volume inicial no reservatório Mãe D'Água no 2º ano de planejamento



As análises das curvas de permanência dos reservatórios apresentadas nas Figuras 8.130 a 8.133 mostraram as seguintes observações:

1. Reservatório Coremas:

- No primeiro ano de planejamento, o reservatório atingiu seu volume máximo em todos os meses, com um percentual no mês de julho do 1º ano de 92,3%, em relação ao cenário sem a transposição; e
- No 2º ano de planejamento, o reservatório permaneceu com o seu volume máximo durante os meses de agosto a fevereiro, caindo entre os meses de

março a julho, quando atingiu a diferença percentual de 36,5% superior, considerando a transposição.

2. Reservatório Mãe D'Água:

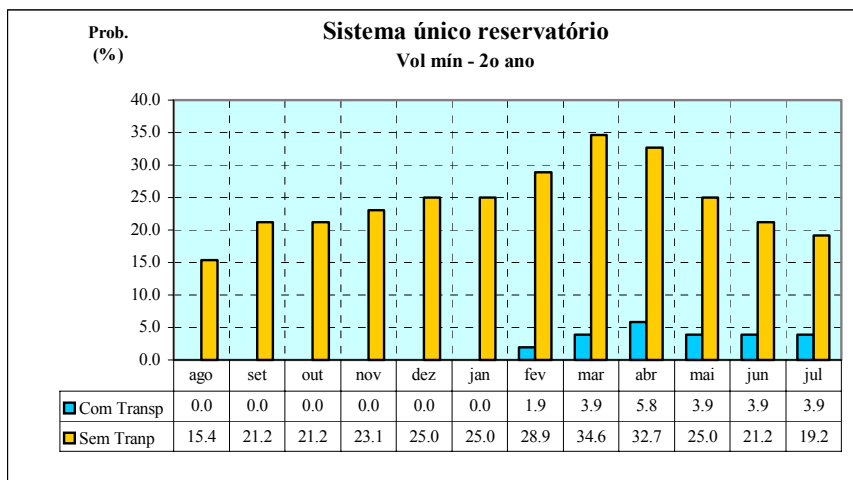
- No 1º ano de planejamento o reservatório atingiu volume maior a partir de março até o final do período, quando chegou com o valor de 25% superior, com a transposição; e
- No 2º ano de planejamento, o reservatório atingiu seu volume máximo a partir do mês de março até o final do período, com o valor de 32,7% superior com a transposição em relação à situação atual.

8.2.5.1.3 - PROBABILIDADES DE ATINGIREM SEUS VOLUMES MÍNIMOS

A - O SISTEMA COMO ÚNICO RESERVATÓRIO

A Figura 8.134 mostra as curvas de probabilidades do sistema atingir seu volume mínimo estabelecido no estudo, considerando o início da operação do mesmo com 60% da sua capacidade máxima, com e sem a transposição de águas.

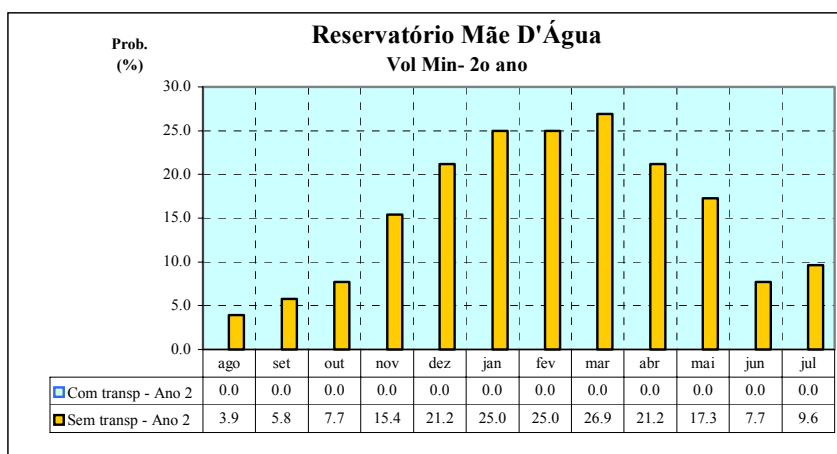
Figura 8.134 – Probabilidades de ocorrência de volumes mínimos no sistema no 2º ano de planejamento, com e sem a transposição.



B - O SISTEMA COMO DOIS RESERVATÓRIOS

Nesta concepção do sistema, somente o reservatório Mãe D'Água apresentou chances de atingir volume menor ou igual ao mínimo estabelecido neste estudo, para a situação atual, sem considerar a transposição. A Figura 8.135 mostra as curvas de probabilidades do reservatório Mãe D'Água atingir seu volume mínimo o início da operação do reservatório com o volume inicial do sistema igual 283,7 hm³.

Figura 8.135 – Probabilidades de ocorrência de volumes mínimos no reservatório Mãe D'Água no 2º ano de planejamento, com e sem a transposição.



As análises das Figuras 8.134 e 8.135 mostraram que:

- Para a concepção do sistema como único reservatório, não foram observadas falhas do reservatório no 1º ano do planejamento (Figura 8.134);
- No 2º ano do planejamento, as probabilidades foram bastante reduzidas com o aporte da vazão de transposição, com diminuição percentual de até 30,7% observada no mês de março;
- Para a concepção do sistema como dois reservatórios, não se observou probabilidade de falhas no reservatório Coremas nem no 1º e nem no 2º ano de planejamento;
- Nesta concepção do sistema, o reservatório Mãe D'Água não apresentou falhas no 1º ano de planejamento, mesmo sem considerar a transposição; e

- No 2º ano de planejamento, a redução das chances de falhas do referido reservatório, chegou a 100%, com a transposição (Figura 8.135).

8.2.5.2 – ATENDIMENTO AS DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO

Nesta seção foi analisada a sustentabilidade hídrica do sistema para atendimento das demandas de irrigação dos perímetros Piancó (Piancó II, III e Brotas), localizados a montante do sistema e do perímetro várzea de Sousa, a jusante do mesmo. Em ambos os casos, o referido sistema foi avaliado com e sem a transposição, através das análises dos mesmos indicadores de falhas, avaliados na Seção 8.2.3.2.

Conforme observado no estudo anterior, para o atendimento da demanda de irrigação foi constatado um déficit hídrico anual no sistema hídrico atual. Nesta seção serão avaliados a sustentabilidade do sistema de montante com o aporte da vazão de 10 m³/s da transposição, para suprimento desse déficit, avaliando ainda os benefícios financeiros que poderão advir da atividade de irrigação dos perímetros a montante do sistema, caso seja utilizada toda a área potencial, de aproximadamente 4.500 ha.

8.2.5.2.1 – PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PIANCÓ

Foram analisadas as falhas isoladas e falhas contínuas e suas respectivas durações, com e sem a transposição, no 1º e no 2º ano do horizonte de simulação. Em ambas as análises, o sistema foi considerado na concepção, *único reservatório* visto que, a referida demanda, situa-se a montante do mesmo. Na Figura 8.136 estão apresentados os percentuais de falhas observadas para o perímetro Piancó, no 1º e 2º ano do horizonte de planejamento, com e sem a transposição.

Na figura 8.137 estão representadas as falhas contínuas observadas para o 2º ano de planejamento, com e sem transposição e, na Figura 8.138 estão representadas as probabilidades de falhas por duração, observadas no 2º ano de planejamento, com e sem a transposição.

Das observações feitas a partir dos resultados apresentados nas Figuras 8.136 a 8.138, pode-se fazer as seguintes análises, com relação as falhas no atendimento das demandas do perímetro Piancó:

- Falhas isoladas, com a transposição não foram observadas falhas isoladas nos dois anos do horizonte de planejamento (Figura 8.133). Sem esta, o atendimento das demandas desse projeto somente seria possível para um ano de planejamento;
- Falhas Contínuas, com a transposição não foram observadas folhas contínuas para o atendimento das demandas do projeto Piancó (Figura 8.134); e
- Duração das Falhas, a transposição chegou a zerar as chances de falhas ao atendimento dessas demandas, com até 5 meses de duração no mês de outubro, onde a probabilidade tinha o valor de 21,2%, sem transposição (Figura 8.135).

8.2.5.2.2 – PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO VÁRZEAS DE SOUSA

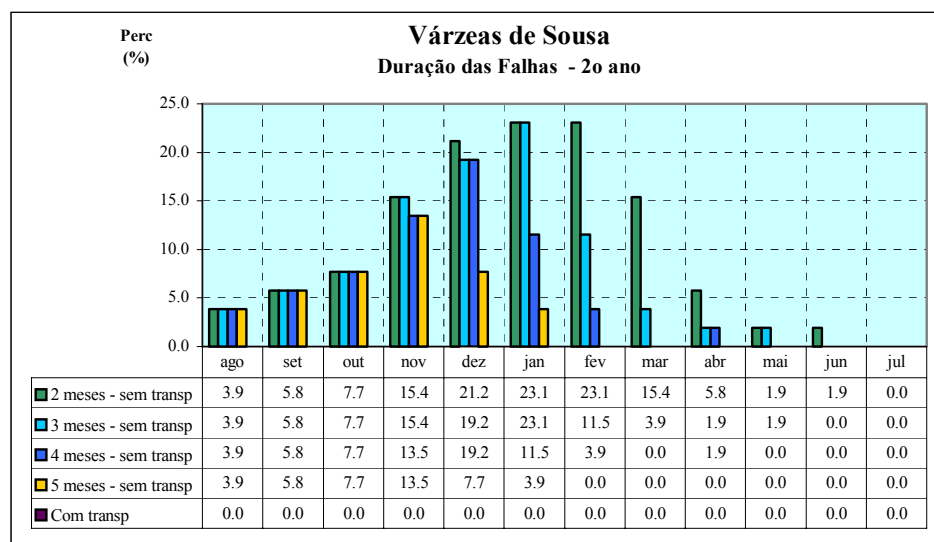
Nesta seção serão analisados os mesmos parâmetros de falhas analisados para o perímetro Várzeas de Sousa, considerando, neste caso, o sistema nas duas concepções hídricas: como único reservatório e com dois reservatórios, conforme descritos a seguir.

A - O SISTEMA COMO ÚNICO RESERVATÓRIO

Os esquemas para simulação do sistema nesta concepção hídrica está representada nas Figuras 7.29 e 7.33, sem e com a transposição, respectivamente. O sistema foi operado com o volume inicial de 60% da capacidade máxima, pois o mesmo foi observado como o volume inicial que apresentou maior falha no atendimento das demandas de jusante. Os resultados obtidos das falhas isoladas estão representados na Figura 8.139 e, as falhas contínuas com suas durações, para o 1º e 2º anos do horizonte de planejamento, estão representados nas Figuras 8.140 e 8.141, respectivamente. Das observações feitas a partir das referidas figuras pode-se fazer as seguintes análises, com relação às falhas no atendimento das demandas do referido perímetro:

- Falhas Isoladas, com a transposição, a probabilidade de 100% de ocorrência de falha no atendimento das demandas do perímetro Várzeas de Sousa, caiu para zero nos dois anos do horizonte de planejamento; e
- Durações das falhas, foram reduzidas de 5 meses consecutivos sem a transposição, com 100% de probabilidade, para nenhuma falha com a transposição.

Figura 8.143 – Probabilidades de duração das falhas consecutivas no 2º ano de planeamento para atendimento do Perímetro Várzeas de Sousa com e sem a transposição.



8.2.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das simulações, para as duas concepções hídricas estabelecidas para o estudo do sistema, mostraram que:

1. Com relação sustentabilidade hídrica do sistema:

- Poderia-se operar o sistema de reservatórios com o volume inicial de até 60% da sua capacidade, na ZHS, que ainda assim, o sistema atenderia a todas as demandas para as condições de tolerância estabelecidas e volumes metas desejáveis, para o horizonte de planeamento de dois anos; e
- Poderia operar o sistema com reservatórios separados com volume inicial de 636,5 hm³, que representa 48,3% da capacidade total, na ZHI, que este atenderia a todas as demandas de jusante dentro das condições impostas e do horizonte de planeamento estabelecido.

2. Com relação ao atendimento das demandas de irrigação:

2.1 – Projeto Piancó

- i. O incremento da vazão de 10 m³/s ao sistema proporcionaria o atendimento das demandas de irrigação dos projetos Piancó II, III e Brotas e ainda forneceria vazão suficiente para garantir o atendimento das demandas de jusante do sistema, dentro das condições de tolerância e volumes metas estabelecidos, para o horizonte de planejamento estudado; e
- ii. Iniciando a operação do sistema com o volume inicial de 80% da capacidade máxima, poder-se-ia aumentar a irrigação de montante em até 50% da área total considerada no estudo (4.500 ha), obtendo-se sustentabilidade do sistema para atender as demandas de jusante, no horizonte de planejamento estabelecido.

2.2 – **Perímetro Várzeas de Sousa**. Em ambas as concepções hídricas idealizadas para o estudo do sistema, como único ou dois reservatórios, operando o mesmo somente na ZHS ou iniciando-o na ZHI, o sistema mostrou sustentabilidade hídrica para atendimento das demandas do referido perímetro, fornecendo uma vazão constante de 4,0 m³/s, através do Canal da Redenção.

Na avaliação dos benefícios financeiros advindos com o incremento da vazão de transposição, obtidos do modelo ORNAP, poder-se-ia obter anualmente os seguintes retornos financeiros advindos da irrigação por perímetro:

▪ Poço Redondo	RS 2.956.000,00
▪ Brucas	RS 2.816.000,00
▪ Gravatá	RS 5.257.000,00
▪ Piancó II	RS 4.697.000,00
▪ Piancó III	RS 5.598.000,00
▪ Piancó Brotas	RS 2.799.000,00

Totalizando o valor de R\$ **24.123.000, 00** (vinte e quatro milhões, cento e vinte três mil reais), os benefícios trazidos pela transposição somente com ativação de toda a área potencial de irrigação dos perímetros de montante do sistema.

CAPÍTULO IX

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

9.1 – CONCLUSÕES

A metodologia e a estruturação estabelecidas para o estudo do comportamento hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água e os modelos hidrológicos utilizados mostraram resultados importantes que poderão subsidiar em um processo decisório, no tocante a utilização de seus recursos hídricos. A seguir serão apresentadas as principais conclusões obtidas, comentadas para as duas etapas estabelecidas para estudo do sistema.

PRIMEIRA ETAPA DO TRABALHO: DIAGNÓSTICO

Nesta etapa do trabalho, o estudo foi destinado ao conhecimento hídrico do sistema, compreendendo dois cenários: *Atual*, cujo objetivo foi determinar o nível de comprometimento da infra-estrutura hídrica existente e *Idealizados*, onde objetivo foi obter o comportamento hídrico do sistema para as intervenções possíveis no plano: físico, hídrico e operacional na infra-estrutura atual. O estudo foi dividido em: sistema de montante, relacionado com os reservatórios inseridos na bacia de contribuição dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água e o sistema formado pelos próprios reservatórios interligados. As principais conclusões para os dois sistemas foram:

1. Com relação ao sistema hídrico de montante

- Os reservatórios com capacidades inferiores a 2 hm³ têm pouca ou nenhuma capacidade de regularização de vazão e apresentam altas perdas evaporativas, sendo recomendado o uso máximo das suas disponibilidades hídricas como forma de minimizar as perdas por evaporação;
- Os reservatórios têm capacidades de acumularem, em média, uma vez e meia os volumes afluentes anuais nas suas respectivas bacias de contribuição;

- Com relação aos rendimentos hídricos dos reservatórios, o sistema apresentou um índice médio de 13,2%, para uma garantia de 99%; e
- Os reservatórios de porte médio foram os mais representativos do sistema, detendo 63,7% do volume total acumulado, 65,5% dos volumes médios afluentes nas bacias de contribuição dos reservatórios e 68,4% do total da vazão regularizável do sistema;
- O índice relacionado com a capacidade do reservatório versus o volume médio afluente anual, em média, os grandes reservatórios apresentaram melhores aproveitamentos hídricos dos volumes afluentes nas suas bacias de contribuição;
- O índice relacionado com a evaporação versus capacidade do reservatório, decresceu com o aumento da classe de capacidade do reservatório, ou seja, pequenos reservatórios apresentaram maiores perdas por evaporação; e
- O rendimento hídrico apresentou pequena variação entre as classes de capacidade dos reservatórios

2. Com relação ao sistema Coremas-Mãe D'Água

Na caracterização hídrica geral do sistema formado pelos dois reservatórios, o mesmo apresentou um percentual 50% menor das perdas por evaporação do que a média dos reservatórios de montante, confirmando menores perdas por evaporação para as classes de capacidades maiores dos reservatórios da região. A capacidade de armazenamento do reservatório Coremas apresentou um percentual de 38,6% menor do que a média obtida para os reservatórios de montante. O maior rendimento hídrico foi observado para o reservatório Coremas, em relação ao reservatório Mãe D'Água, com um valor de duas vezes e meio superior a média encontrada para os reservatórios de montante.

As disponibilidades hídricas do sistema se mostraram altamente dependentes da concepção hídrica do sistema, da operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e também da operação dos reservatórios de montante, com variação de até 1,76 m³/s na sua vazão máxima regularizável. As seguintes conclusões foram obtidas em função dos cenários e situações estabelecidas no estudo:

- **Com relação às retiradas de água dos reservatórios**, os resultados das simulações mostraram um maior ganho de vazão regularizável do sistema quando se opera mais o reservatório Coremas, fixando uma retirada máxima de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ do reservatório Mãe D'Água e retiradas superiores do reservatório Coremas até o limite de $6,68 \text{ m}^3/\text{s}$;
- **Com relação às conclusões dos reservatórios de montante**, os resultados das simulações mostraram uma perda de vazão regularizável do Coremas-Mãe D'Água de $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente a 2,3%, com as conclusões dos reservatórios Garra, Poço Redondo e Canoas, para as capacidades estabelecidas no estudo. Entretanto, no balanço de perdas e ganhos o sistema global teve ganho, indicando um índice de açudagem não superior ao da saturação, sinalizando a possibilidade de novas implantações de açudes no sistema;
- **Com relação ao padrão de afluência** (sem considerar os vertimentos dos reservatórios do tributário Piancó). Neste caso, o sistema chegou a perder até $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$, cerca de 13,6% da vazão máxima regularizável, na situação atual e, de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (12,3%), com a conclusão do reservatório Garra;
- **Com relação ao rebaixamento do canal de ligação**, o aumento das disponibilidades do sistema através do rebaixamento do canal de ligação entre os reservatórios, apresentou um valor máximo de $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ para o rebaixamento de 3,0 m;
- **Com relação as irrigações de montante**, considerando as irrigações de montante do sistema, as perdas de vazão regularizável poderiam chegar ao valor máximo de $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$, que representaria 6,2%, dependendo da operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água.

As variações nos valores de vazões regularizáveis (ou regularizadas) descritas anteriormente, observadas pelo estudo, mostram que este conceito como parâmetro para definição de ações de planejamento para uso de recursos hídricos, não deverá ser aplicado, visto que, no caso do sistema estudado, a variação do valor deste parâmetro chegou a um valor de até $1,76 \text{ m}^3/\text{s}$, dependendo da concepção hídrica do sistema Coremas-Mãe D'Água (como um único reservatório e como dois reservatórios interligados), da operação dos

reservatórios de montante e das intervenções hídricas na sua bacia de contribuição, avaliadas neste estudo, através de cenários e situações idealizadas.

Quando se considera as irrigações de montante do sistema, o estudo mostra que, com exceção do perímetro irrigado Bruscas, não existe sustentabilidade hídrica do sistema para irrigar toda área de projeto considerada, de 4.500 ha. O déficit apontado pelo estudo é de 23,852 hm³, correspondente a uma vazão de 9,3 m³/s, equivalente a vazão requerida para suprimento das demandas de jusante, demonstrando que, a situação de montante é tão complicada quando a de jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água.

SEGUNDA ETAPA DO TRABALHO: PLANEJAMENTO

Nesta etapa de Planejamento, o trabalho buscou analisar as respostas hídricas do sistema para os cenários e situações idealizados e, a partir de então, elaborar uma proposta para a política operacional de utilização dos recursos hídricos do sistema estudado. Neste estudo foi ainda considerado o aporte de uma vazão de 10 m³/s, advinda da transposição de águas do Rio São Francisco para a bacia estudada. As principais conclusões, considerando as duas situações hídricas, foram:

1. O sistema sem a transposição

Como considerações finais das respostas hídricas do sistema, nesta concepção hídrica, pode-se fazer as seguintes conclusões, no tocante ao atendimento das demandas de irrigação:

- Não houve problemas com relação ao atendimento das demandas de abastecimento urbano e nem de piscicultura;
- As demandas totais de irrigação não seriam possíveis de serem atendidas pelo sistema, para as condições estabelecidas nesta concepção hídrica e para o horizonte de planejamento de 2 anos; e
- As demandas de irrigação das Várzeas de Sousa somente seriam atendidas pelo sistema, para o nível de garantia adotado neste estudo, para somente um ano do horizonte de planejamento.

2. O sistema com a transposição

Os resultados das simulações, para as duas concepções hídricas estabelecidas para o estudo do sistema, mostraram que:

i. Com relação sustentabilidade hídrica do sistema:

- Poderia-se operar o sistema de reservatórios com o volume inicial de até 60% da sua capacidade, na ZHS, que ainda assim, o sistema atenderia a todas as demandas para as condições de tolerância estabelecidas e volumes metas desejáveis, para o horizonte de planejamento de dois anos; e
- Poderia operar o sistema com reservatórios separados com volume inicial de 636,5 hm³, que representa 48,3% da capacidade total, na ZHI, que este atenderia a todas as demandas de jusante dentro das condições impostas e do horizonte de planejamento estabelecido.

ii. Com relação ao atendimento das demandas de irrigação

a. Projeto Piancó

- O incremento da vazão de 10 m³/s ao sistema proporcionaria o atendimento das demandas de irrigação dos projetos Piancó II, III e Brotas e ainda forneceria vazão suficiente para garantir o atendimento das demandas de jusante do sistema, dentro das condições de tolerância e volumes metas estabelecidos, para o horizonte de planejamento estudado; e
- Iniciando a operação do sistema com o volume inicial de 80% da capacidade máxima, poder-se-ia aumentar a irrigação de montante em até 50% da área total considerada no estudo (4.500 ha), obtendo-se

sustentabilidade do sistema para atender as demandas de jusante, no horizonte de planejamento estabelecido.

1. **Perímetro Várzeas de Sousa**. Em ambas as concepções hídricas idealizadas para o estudo do sistema, como único ou dois reservatórios, operando o mesmo somente na ZHS ou iniciando-o na ZHI, o sistema mostrou sustentabilidade hídrica para atendimento das demandas do referido perímetro, fornecendo uma vazão constante de $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$, através do Canal da Redenção.

Na avaliação dos benefícios financeiros advindos com o incremento da vazão de transposição poder-se-ia obter anualmente os seguintes retorno financeiro no valor de R\$ **24.123.000, 00** (vinte e quatro milhões, cento e vinte três mil reais), advindo da atividade de irrigação, caso fosse utilizada a área potencial dos perímetros de montante do sistema.

Quando se considera as irrigações de montante do sistema, o estudo mostra que, com exceção do perímetro irrigado Bruscas, não existe sustentabilidade hídrica do sistema para irrigar toda área de projeto considerada, de 4.500 ha. O déficit apontado pelo estudo é de $23,852 \text{ hm}^3$, correspondente a uma vazão de $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente a vazão requerida para suprimento das demandas de jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água, demonstrando que a situação de montante é tão complicada quando a de jusante.

9.2 – RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve por objetivo geral fazer uma análise e sugestão para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó de forma integrada e sustentável, visando subsidiar o planejamento de ações de uma política de gestão de águas para a bacia do Rio Piancó.

Na busca pela proposição de alternativas orientadoras para o estabelecimento de uma política de operação para o uso das disponibilidades hídricas desse complexo sistema, abordagens determinísticas foram necessárias, idealizando-se o futuro conhecido, através de formulações de cenários e situações estudadas. Entretanto, algumas simplificações foram estabelecidas neste estudo, uma delas diz respeito à contribuição hídrica da área não controlada por reservatórios. A série de pseudo-vazões utilizada no estudo das disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, se refere ao período de 1937 a 1998, não contemplando portanto, intervenções de pequenos e médios reservatórios

observadas em visita a bacia de contribuição do sistema. Outro ponto importante na avaliação das disponibilidades hídricas do sistema, está relacionada com as ações antrópicas que ocorreram ao longo dos anos, desde a construção dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, nas décadas de 30 e 50, respectivamente, e seus efeitos sobre os volumes efetivos atuais desses mananciais. Principalmente do reservatório Coremas, onde imagens recentes de satélite, mostram o processo de assoreamento, através da refletância de material em suspensão na sua bacia hidráulica. Portanto, os resultados apresentados são referentes a uma situação bastante otimista, em face dos motivos acima expostos. Recomenda-se, para a definição de uma política de uso dos recursos hídricos desse sistema, uma reavaliação das intervenções recentes na sua bacia de contribuição e a construção de novas curvas *cota-área-volume* dos referidos reservatórios, através de uma batimetria nas suas respectivas bacias hidráulicas.

O Estado da Paraíba deve rever o acordo a ser assumido com o governo Federal e com o Estado do Rio Grande do Norte, quanto à operação do sistema, sem considerar o déficit hídrico de montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, sob pena de, firmado o referido acordo, a Paraíba não possa mais fazer qualquer intervenção a montante do sistema, sem que haja uma discussão entre os órgãos envolvidos no Marco Regulatório. Neste caso, o domínio das águas de montante passaria a ser também de domínio Federal, em face ao acordo assinado entre as partes interessadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. R. G. S. et al. (2000). *Otimização da Operação do Sistema Hídrico Jucazinho-Carpina, para Múltiplos Usos. Via Modelo de Programação Não-Linear*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju - SE. Novembro.
- ANDREU, J, et al. (1996). *AQUATOOL: A Generalized Decision-Suport System for Water Resources Planning and Operational Management*. Journal of Hydrology, Vol. 177, pp. 259-291.
- ARCHIBALD, T. W. et al. (2001). *Controlling Multi-Reservoir Systems*. European Journal of Operational Research, Vol. 129, pp. 619-526.
- ATECEL (1994), Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior. Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. SEPLAN, Junho.
- AZAMBUJA. C. (2000). *Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Piracicaba*. Dissertação de Mestrado, 200p. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
- AZEVEDO. L. G. T. et al. (1998). *Sistema de Apoio à Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da água: Metodologia e Estudo de Caso*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 3, n. 1, pp. 21- Janeiro / Março.
- AZEVEDO. L. G. T. et al. (2000). *Integration of Water Quantity and Quality in Strategic River Basin Planning*. Journal of Water Resources Planning and Management. Reston, Va., v.126, n.2, pp. 85 - 97.
- BARBOSA, P. S. F (1997) Modelos de Programação Linear em Recursos Hídricos. In TÉCNICAS quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre: Editora Universidade/UFGRS-ABRH. p. 97-163.
- BARBOSA, D. L. et al. (2001). *Um Estudo de Caso da Operação Integrada Ótima de Três Reservatórios em Paralelo com Usos Múltiplos*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju - SE, Novembro.
- BECKER, Leonard; YEH, W. (1974). (Optimization of real time operation of a multiple-reservoir system. *Water Resource Research*, v 10. n. 6, p. 1107 - 1112. Dez.
- BELAINEH Getachew; PERALTA. Richard C.; HUGHES, Trevor C. (1999). Simulation/Opimization Modeling for Water Resources Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 125, n. 3, p. 154 - 161 Maio/Jun.
- BENETT, Michael et al. (1994). Simulating Water Supply Systems of the Raritan Basin. In: 21st ANNUAL CONFERENCE, ASCE, Denver CO, p. 433-436. Maio 23 – 26.

- BRAGA, B. P. F. (1987). Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: *Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 1, Nobel/ABRH.
- BRAGA, B., BARBOSA, P. S. F e NAKAYAMA, P. T. (1997). Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)*, nº 3, v. 3, p.73-94.
- BRAGA, B. P. F, et al. (1983). *Curso de Engenharia Hidrológica, Vol. 2*. EPUSP -DAEE - ABRH. São Paulo.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P. S.; NAKAYAMA, P.T. (1998). Sistemas de suporte à decisão em Recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. 73-95. Jul/Set.
- BRANDAO, C.; RODRIGUES, R. (2000). *Hydrological Simulation of the International Catchment of Guadiana River*. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 25, n.3, pp, 329-339.
- CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM. Rio de Janeiro, 372p.
- CHANDRAMOULI V.; RAMAN. II. (2001). Multireservoir Modeling with Dynamic Programming and Neural Network. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 127, n. 2, p. 89-98. Mar./Abr.
- CIRILO, J. A.(1997). Programação Não Linear Aplicada a Recursos Hídricos, in: *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFGRS/ ABRH. Porto Alegre, RS. 1997.
- COOMES, R.T. (1979). *Regulation of Arkansas Basin Reservoir*, The National Workshop on Reservoirs Systems Operations, pp 254-265, University Of Colorado, Boulder, Colorado, pp 13-17, August.
- CRAWLEY, P. D; DANDY, G. C. (1992) Optimal Operation of Multiple-reservoir System. *Journal of Water Resources Planning and Management*, New York, vol. 119, n.1. p.1-17.
- CUNNINGHAM, Alfred B.; AMEND, John R. (1986). Interactive Simulation of Water Resource Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 115, n. 3, p. 326-337.Jul.
- DANDY, G. C.; CONNARTY, M. C.; LOUCKS, D. P. (1997). Comparison of Methods for Yield Assessment of Multiple Reservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 123, n 6, p. 350-358. Nov./Dez.
- CURI, R. C.; CURI, W. F.; CELESTE, A. B (1999). Método de Otimização para Operação de Reservatórios (ORNAP). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB.

- DROUIN, N. et al. (1996). Piecewise Affine Approximations for the Control of a One-Reservoir Hydroelectric System. *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, pp. 53-69.
- DYRBAK, L. (2000). Reservoir operation optimization. Dept of Hydrodynamics and Water Resources, July. <http://www.dhisoftware.com/mikebasin/News/DyrbakReport.htm> (19 mar de 2001).
- EVALUACIÓN Global de Los Recursos Mundiales de Água Doce (1997): Artículo Especial. Waterway, Boletim IHP, n.11, jul/set.. [Comunicação via internet: http://www.unesco.org.uy/phi/wateresp/wa_11_astep].
- EVANSON, D. E.; MOSELEY, J. C. (1970). *Simulation/Optimization Techniques for Multi-Basin Water Resource Planning*. *Water Resource Bulletin*, Vol. 6, n.5, pp. 125-736.
- FEIRING, B. R. et al. (1998). *A Stochastic Programming Model for Water Resource Planning*. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 27, pp. 1-7.
- FRANCATO, A. L. et al. (2000). *Um Modelo de Programação Não-Linear para a Otimização da Operação de Sistemas Hidrelétricos*. In: XIX Congresso Latino-Americano de Hidráulica, Córdoba, Argentina.
- FRANCATO, A. L.; BARBOSA, P. S. F. (1996). *Programação Ótima da Operação Energética de Sistemas Hidroelétricos*. In: XVII Congresso Latino-Americano de Hidráulica, Guayaquil, Equador.
- HASHIMOTO, T, et al. (1982). *Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation*. *Water Resources Research*, Vol. 18, n. 1, pp. 14-20.
- IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation (1994). Cornell University and Resources Planning Associates. Incorporated. Version: 1.00.
- ITO, K. et al. (2001). Decision Support System for Surface Water Planning in River Basins. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v 127 n. 4, p. 272-276. Jul/Aug.
- JAMIESON, D. G.; FEDRA, K. (1996). *The "WATERWARE" Decision-Support system for River Basin Planning. 1. Conceptual Design*. *Journal of Hydrology*, Vol. 177, pp. 163-175.
- LABADIE, J. W. et al. (1984). *Network analysis of raw supplies under complex water rights and exchanges: Documentation for program MODSIM3*. Colorado Water Resources Institute, Fort Collins, Colorado, EUA.
- LABADIE, J. W. et al. (1986). *Network Model for Decision Support in Municipal Raw Water Supply*. *Water Resources Bulletin*, Val. 22, n.6, December.

- LABADIE, J. W. et al. (1999). MODSIM: *Modelo de Rede de Fluxo para Simulação de Bacias Hidrográficas - Manual do Usuário e Estudos de Casos*. São Paulo, LabSid - EP - USP. Disponível em <<http://www.phd.poli.usp.br/phd/pos/phd5029/>>. Acesso em 03 Abr. 2003.
- LAINNA, A. E. (1993). Gestão de Recursos Hídricos. In: *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Porto Alegre. Editora Universidade/UFRGS/ABRH. p. 727-768.
- LAINNA, A. E. (1997). *Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos*. In: *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS.
- LAINNA, A. E. (1999). *Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos*. In: *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS.
- LARAQUE, A. (1989). Estudo e Previsão da Qualidade da Água de Açudes do Nordeste Semi-Árido Brasileiro. Recife, SUDENE/DPG/PRN (Hidrologia, 26), p. 29.
- LARSON, R. E; KECKLER, W. G. (1969). Application Dynamic Programming to the Control of Water Resources Systems. *Automatic*, v. 5, p. 15-26.
- LIMA, G. (2002). *Aplicação de Simulação Computacional na Análise dos Conflitos Entre os Usos Múltiplos da Água na Bacia do Rio Atibaia no Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, 141 p., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
- LIMA, C. V. H; LAINNA, L. E .A (2001). Operação “ótima” de Sistemas de Reservatórios – Aplicação ao Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju – SE.
- LIMA, C. A. G e PASSERAT, A. M de Silans (1999). Aplicação de Técnicas de Geoestatística para Estudos de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Taperoá-PB. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento em Meio Ambiente – PRODEMA / UFPB. Relatório Final de Bolsista RHAE/CNPQ, João Pessoa.
- LISBOA, H, et al. (2001). *Sistema e Suporte à Decisão em Engenharia de Recursos Hídricos: Desenvolvimento Piloto Para as Bacias dos Rios Paraguaçu e Itapicuru, no Estado da Bahia*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju - SE, Novembro.
- LOÁICIGA, H. A., P. E. (2002). *Reservoir Design and Operation with Variable Lake Hydrology*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, pp. 399 - 405, November/December.

- LOUCKS, D. P.; STENDIGER, J. R. ; HAIT, D. A.(1981). *Water Resources Planning Systems Planing and Analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 55p.
- LOUCKS, Daniel P. (1983). *Computer Models for Reservoir Regulation*. *Journal of the Sanitary' Engineering Division*. v 94. n SA4, p. 657-669. Ago.
- LOUCKS, Daniel P.; STAKHIV, Eugene Z.; MARTIN, Lynn R. (2000). Editorial: Sustainable Water Resources Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v 126, n. 2, p. 43-47. Mar./Abr.
- GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação Hidráulica dos Sistemas Pressorizados, aspersão e Gotejamento. Editora Universitária – UFPB, Campina Grande-PB, 3ª Edição. 412p. 1999.
- MAUAD, F. F. (2000). *Planejamento Integrado de Recursos Hidroenergéticos: O Confronto de Usos Múltiplos da Água no Aproveitamento Hidroelétrico de Alqueva em Portugal*. Tese de Doutorado, 182 p., Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.
- MAUAD, F. F. (2001). *A Utilização da Simulação Computacional no Conflito de Usos Múltiplos da Água*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju - SE, Novembro.
- MAUAD, F. F.; ALBERTINI L. L.; CORREA, C. R. R.; AGUIAR, A. R. B. & OLIVEIRA, H. R. (2003) *Avaliação de Conflitos de Usos Múltiplos de Água em Sistemas de Recursos Hídricos: O Estado da Arte* In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba - PR. Novembro. *Anais*: CD-ROM.
- MAUAD, F. F.; OLIVEIRA, H. R.; CORREA, C. R. R. & MARIOTONI, C. A. (2003) *O Papel das Pequenas Centrais Hidrelétricas Frente à Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro* In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba - PR. Novembro. *Anais*: CD-ROM.
- MAUAD, F. F.; OLIVEIRA, H. R.; CORREA, C. R. R.; VENANCIO, S. S., SOUZA, L. B. S. & VILLELA, S. M. (2003) *Reavaliação do Potencial Hidrelétrico da Usina do Monjolinho, Localizada no Município de São Carlos - SP* In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba - PR. Novembro. *Anais*: CD-ROM
- MAUAD, Frederico Fábio. (2000). *Planejamento Integrado de Recursos Hidroenergéticos: O Confronto de Usos Múltiplos da Água no Aproveitamento Hidroelétrico de Alqueva em Portugal*. 182p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas.
- MEDEIROS, Yvonilde D. P. (1985). *Aplicação da Programação Linear inteira 0 (zero) e 1 (um,) na otimização de sistemas de recursos hídricos a múltiplos propósitos*. 200p.

- Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP.
- MEREDITH, D D. (1975). Optimal Operation of Multiple Reservoir System. *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, v. 101, n. 1 HY2, p. 299-312.
- MICHALLAND, B, et al. (1997). *Bi-Objective Dynamic Programming for Trading Off Hydropower and Irrigation*. Applied Mathematics and Computation, Vol. 88, pp. 53-76.
- MIZYED, N.R.; LOFTIS, J.C.; FONTANE, D.G. (1992). *Operation of Large Multireservoir Systems Using Optimal-Control Theory*, ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 118, n.4, pp. 371 - 387, July/August.
- MOHAN, S.; RAIPURE, D. M. (1992). *Multiobjective Analysis of Multireservoir System*. Journal of Water resources Planning and Management, Vol. 118, pp. 356-370, July/August.
- MOHAMMADI, B.; MARIÑO, M. A. (1984). Reservoir Operation: Choice of Objective Functions. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 110, n. 1, p. 15-29, Jan.
- MOLLE, F. e CADIER, E. (1992). Manual do Pequeno Açude. Recife, PE, SUDENE – DPG, PRN-DPP-APR, p 149-185.
- MOY, Wai-See; COHON, Jared L.; REVELLE, Charles S. (1986). A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. *Water Resources Research*, v. 22, n. 4, p. 489-498. Abr.
- MOUSAVI, H.; RAMAMURTHY, A. S. (2000). *Optimal Design of Multi-Reservoir Systems for Water Supply*. Advances in Water Resources, Vol. 23, pp. 613-624.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS - OEA, (1996). Administracion de Recursos Hídricos: Documento Técnico. In: Conferencia Cumbre Sobre Desarrollo Sostenible, Santa Cruz de La Sierra, Bolivia, el 7 y 8 diciembre. [Comunicação via Internet: <http://www.oas.org/sp/prog/bolivia/techpat>].
- PEIXOTO, L. S. (2002). A Utilização de Simulação Computacional no Gerenciamento de Usos Múltiplos da Água na Bacia do Sapucaí/Grande no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 130 p., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
- PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T (1997). Sistemas de Suporte a Decisão Aplicada a Problemas de Recursos Hídricos. In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Organizador: Rubem LA Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS.

- PORTO, R. L, et al. (1997). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora Universidade, UFRGS, ABRH, Porto Alegre - RS.
- PORTO, R. L, et al (2001). *Sistema de Suporte a Decisões para a Operação dos Grandes Sistemas Produtores da Sabesp*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju - SE, Novembro.
- SCIENTEC (1997a), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas. SEPLAN, v.3, 229p.
- SCIENTEC (1997b), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas. SEPLAN, v.2, 274p.
- SCIENTEC (1997c), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas. SEPLAN, v.7, 339p.
- SEMARH (2004), Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu: Plano de Ordenamento dos Usos dos Recursos Hídricos do Sistema Curema-Açu. Cadastro de Usuários dos Recursos Hídricos- Relatório Final. J. Pessoa, Fevereiro, 79p.
- SHELTON, R. A. (1979). *Management of TVA Reservoir Systems*, The National Workshop on Reservoir Systems Operations, University Of Colorado, Boulder, Colorado, pp. 13-17, August.
- SIGVALDASON, O. T. (1976). A Simulation Model for Operation a Multipurpose Multireservoir System. *Water Resources Research*, v. 12, n. 2, p. 263-278. Abr.
- SIMONOVIC, S. P.(1992). Reservoir System Analysis: Closing gap between theory and practice. *Journal of Water Resources Planning and Management*, New York, vol. 118, n.3. p.262-280.
- SOARES, S.; FILHO, M. G. A. (1988). Optimal Multiobjective Operation Planning of a Water Resources System. In: 1ST' INTERNATIONAL CONFERENCE: COMPUTER METHODS AND WATER RESOURCES, Marrocos. *Anais. QUAZAR, D.; BREBBIA, C. A.; STOUT, G. E.* v. 6, p 127-134.
- SRINIVASAN, K. e et al. (1999). Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 125, n. 5, p. 298-301. Set./Out.

- STAHL, G.R.; ELLIOTT, J.C. (1999). 'New Generation' Computer Models for Risk-Based Water Planning and Management. *Water Supply*, Vol. 17, n.3/4, Sidney, Australia, pp. 289 - 295.
- STAM, A. et al. (1998). *An Interactive Reservoir Management System for Lake Kariba*. *European Journal of Operational Research*, Vol. 107, pp. 119-136.
- SYLLA, O. (1995). *A Penalty-Based Optimization for Reservoirs System Management*. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 28, pp. 409-422.
- TAUXE, G.W.; MADES, D. M.; INMAN, R. R. (1980). Multiple Objectives in Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management Division*, v. 106, n. WR 1, p. 225-238.
- TAYLOR, Marshall R.; LOUCKS, Daniel P.; FRENCH, Peter N. (1998) Quantifying policy reliability, resilience and vulnerability in IRAS. [http://www. englib.cornell.edu/col](http://www.englib.cornell.edu/col).
- VEDULA, S., MUJUMDAR, P. P. (1992). *Optimal Reservoir Operation for Irrigation of Multiple Crops*. *Water Resources Research*, Vol. 28, n.1, pp. 1 - 9, January.
- VIEIRA, V. P. P. B.(1996). *Recursos Hídricos e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-árido Nordeste*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)*, nº 1, Vol. 1, p.91-107.
- WURBS, R. A.(1993). Reservoir-system Simulation and Optimization Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, New York, Vol. 119, n.4, p.455-472.
- YEH, W. W-G. (1985). *Reservoir Management and Operations Model: a State-of-the-Art Review*. *Water Resources Research*, Vol. 21, n. 12, pp. 1797-1818, December.

