



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE MÚLTIPLOS RESERVATÓRIOS
EM PARALELO PARA USOS E OBJETIVOS MÚLTIPLOS

DAYSE LUNA BARBOSA

CAMPINA GRANDE

MAIO - 2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE MÚLTIPLOS RESERVATÓRIOS
EM PARALELO PARA USOS E OBJETIVOS MÚLTIPLOS**

DAYSE LUNA BARBOSA

CAMPINA GRANDE – PB

MAIO DE 2001



DAYSE LUNA BARBOSA

**OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE MÚLTIPLOS RESERVATÓRIOS EM
PARALELO PARA USOS E OBJETIVOS MÚLTIPLOS**

**Dissertação apresentada ao curso de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, na área de
Engenharia de Recursos Hídricos, em
cumprimento às exigências para obtenção do
Grau de Mestre.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES: ROSIRES CATÃO CURI

WILSON FADLO CURI

Campina Grande – PB

MAIO DE 2001



B238o Barbosa, Dayse Luna.
 Otimização da operação de múltiplos reservatórios em paralelo para usos e objetivos múltiplos / Dayse Luna Barbosa. - Campina Grande, 2001.
 140 f.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001.
 "Orientação : Profa. Rosires Catão Curi, Prof. Wilson Fadlo Curi".
 Referências.

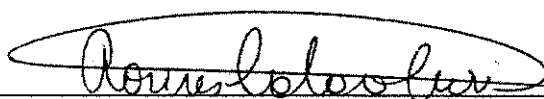
 1. Reservatório de Água. 2. Sistema de Recursos Hídricos. 3. Abastecimento de Água. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Curi, Rosires Catão. II. Curi, Wilson Fadlo. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 628.13(043)

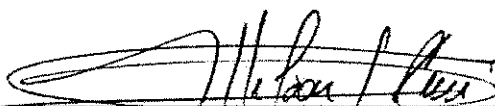
**OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE MÚLTIPLOS RESERVATÓRIOS EM
PARALELO PARA USOS E OBJETIVOS MÚLTIPLOS**

DAYSE LUNA BARBOSA

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA EM 30 DE MAIO DE 2001



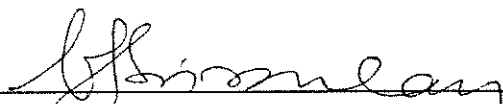
ROSIRES CATÃO CURI
Orientadora



WILSON FADLO CURI
Orientador



JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL
Examinador Externo



VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN
Examinador Interno

Campina Grande – PB

MAIO DE 2001

DEDICATÓRIA

**A meus pais Jessé e Josielita Luna,
a minha avó Audita e
a meu esposo Ricardo, DEDICO.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a vida e guiar sempre os meus passos.

Aos meus pais, avó, irmãos, sogros e a meu esposo pelo amor, apoio e incentivo em mais uma etapa da minha vida.

Aos professores Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi, pela orientação e incentivo ao longo de todo este trabalho.

A minha turma de Curso, Ana Cláudia Medeiros Braga, Andréa Carla Lima Barbosa, Cybelle Frazão, Juliana Maria do Socorro G. B. e Márcia Araújo de Almeida.

A todos os professores da Área de Recursos Hídricos pela formação que recebi.

A Alrezinha, Dona Alzira, Vera, Raulino, Valdomiro, Ismael, Aroldo e Ronaldo (funcionários do Laboratório de Recursos Hídricos), sempre dispostos em ajudar.

A CAPES, pelo apoio financeiro durante a vigência do Curso.

Ao Professor Ricardo Braga, a SRH-PE e a COMPESA pelo material fornecido para este trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta dissertação.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIMBOLOS	xiv
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	3
2 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS	5
2.1 Modelos de Análise de Sistema de Recursos Hídricos	5
2.2 Métodos dos Modelos de Otimização e Simulação	6
2.3 Alguns Estudos de Caso	8
3 O SISTEMA DOS RECURSOS HÍDRICOS EM ESTUDO	12
3.1 Localização	12
3.2 Descrição do Sistema Tapacurá	15
3.3 Dados Gerais do Sistema Tapacurá	22
4 O MODELO DE OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO	30
4.1 Desenvolvimento do Modelo	30
4.2 Aspectos Matemáticos do Modelo	31
4.3 Análise de Convergência do Modelo	41
4.4 Configurações do Sistema Hídrico para o ORNAP	42
4.5 Fluxograma do ORNAP	44
5 DADOS DE ENTRADA DO MODELO	46
6 CENÁRIOS E ANÁLISE DE RESULTADOS	63
6.1 Generalidades	63
6.2 Situações Climáticas	63

6.3	Situações Operacionais dos Reservatórios	66
6.4	Descrição dos Cenários	66
6.5	Análise dos Resultados	72
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
7.1	Conclusões	117
7.2	Recomendações	119
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
	ANEXO A	127
	FIGURAS	127
	ANEXO B	132
	TABELAS	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Localização da bacia do Capibaribe no Estado de Pernambuco.....	12
Figura 3.2	Localização das sub-bacias em estudo na bacia do Capibaribe.....	13
Figura 3.3	Layout do Sistema Tapacurá.....	15
Figura 4.1	Esquema do sistema hídrico para a representação 1	42
Figura 4.2	Esquema do sistema hídrico para a representação 2	43
Figura 4.3	Fluxograma para o ORNAP.....	45
Figura 6.1a	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 1	72
Figura 6.1b	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 2.....	72
Figura 6.1c	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 3.....	73
Figura 6.1d	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 4.....	73
Figura 6.1e	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 5.....	73
Figura 6.1f	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 6.....	73
Figura 6.1g	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 7.....	73
Figura 6.2	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 1	77
Figura 6.3	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 2.....	78
Figura 6.4	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 3	79
Figura 6.5	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá e Goitá para o cenário 4.....	80
Figura 6.6	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá e Goitá para o cenário 5.....	81
Figura 6.7	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 6.....	82
Figura 6.8	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 7	83
Figura 6.9a	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 8.....	94
Figura 6.9b	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 9.....	94
Figura 6.9c	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 10.....	94

Figura 6.10	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 8.....	97
Figura 6.11	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 9.....	98
Figura 6.12	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 10.....	99
Figura 6.13a	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 11.....	105
Figura 6.13b	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 12.....	105
Figura 6.13c	Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 13.....	105
Figura 6.14	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 11.....	108
Figura 6.15	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 12.....	109
Figura 6.16	Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 13.....	110
Figura A.1	Barragem Tapacurá.....	127
Figura A.2	Barragem Goitá.....	127
Figura A.3	Barragem Várzea do Una.....	128
Figura A.4	Curva Cota x Área do reservatório Tapacurá.....	128
Figura A.5	Curva Cota x Volume do reservatório Tapacurá.....	129
Figura A.6	Curva Cota x Área do reservatório Goitá.....	129
Figura A.7	Curva Cota x Volume do reservatório Goitá.....	130
Figura A.8	Curva Cota x Área do reservatório Várzea do Una.....	130
Figura A.9	Curva Cota x Volume do reservatório Várzea do Una.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Finalidades das barragens	22
Tabela 3.2	Monitoramento da Qualidade da Água no Reservatório do Tapacurá, no ano de 1997	27
Tabela 3.3	Monitoramento da Qualidade da Água no Reservatório do Tapacurá, no ano de 1998	27
Tabela 3.4	Monitoramento da Qualidade da Água no Reservatório Várzea do Una	27
Tabela 3.5	Monitoramento de coliformes fecais no Reservatório Várzea do Una	28
Tabela 4.1	Elementos de entrada para o ORNAP	32
Tabela 5.1	Lâmina corrigida (mm) de evaporação média mensal da estação Curado ...	48
Tabela 5.2	Coefficiente de cultivo das culturas adotadas nos perímetros	52
Tabela 5.3	Dados das culturas e dos sistemas de irrigação	53
Tabela 5.4	Dados de áreas máximas e mínimas de cada cultura por perímetro	54
Tabela 5.5	Plano cultural para os três perímetros	54
Tabela 5.6	Volumes máximos e mínimos para os reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una	60
Tabela 5.7	Dados das tomadas d'água para os três reservatórios	61
Tabela 5.8	Dados dos descarregadores de fundo para os três reservatórios	61
Tabela 5.9	Dados dos descarregadores para a ETA	62
Tabela 5.10	Dados dos vertedores para os três reservatórios	62
Tabela 6.1	Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o reservatório Tapacurá	65
Tabela 6.2	Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o reservatório Goitá	65
Tabela 6.3	Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o reservatório Várzea do Una	65
Tabela 6.4	Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o perímetro Tapacurá	65
Tabela 6.5	Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o perímetro Goitá	65

Tabela 6.6	Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o perímetro Várzea do Una.....	66
Tabela 6.7	Distinção básica entre os cenários adotados para simulação/otimização do sistema.....	71
Tabela 6.8	Volumes mensais (em m ³ x 1000) dos reservatórios para os cenários Médios	74
Tabela 6.9	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 1	77
Tabela 6.10	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 2	78
Tabela 6.11	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 3	79
Tabela 6.12	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 4	80
Tabela 6.13	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 5	81
Tabela 6.14	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 6	82
Tabela 6.15	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 7	83
Tabela 6.16	Vazões terminais (em m ³ /s) para o rio Capibaribe dos anos médios	85
Tabela 6.17	Áreas otimizadas (em ha) por cultura e perímetro para os cenários do ano médio.....	86
Tabela 6.18	Áreas otimizadas x áreas planejadas para os perímetros no ano médio	87
Tabela 6.19	Receita líquida otimizada por cultura e por perímetro do ano médio (em Reais x 1000)	90
Tabela 6.20	Resultados otimizados para a piscicultura extensiva nos três reservatórios.....	92
Tabela 6.21	Volumes mensais (em m ³ x 1000) dos reservatórios para os cenários secos	95
Tabela 6.22	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 8	97
Tabela 6.23	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 9	98
Tabela 6.24	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 10 ..	99
Tabela 6.25	Vazões terminais (em m ³ /s) para o rio Capibaribe dos anos secos.....	100
Tabela 6.26	Áreas otimizadas (em ha) por cultura e perímetro para os cenários do ano seco	101
Tabela 6.27	Áreas otimizadas x áreas planejadas para os perímetros no ano seco.....	102
Tabela 6.28	Receita líquida otimizada por cultura e por perímetro do ano seco (em Reais x 1000)	103

Tabela 6.29	Resultados otimizados para a piscicultura extensiva nos três Reservatórios.....	104
Tabela 6.30	Volumes mensais (em m ³ x 1000) dos reservatórios para os cenários chuvosos	106
Tabela 6.31	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 11.....	108
Tabela 6.32	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 12.....	109
Tabela 6.33	Afluências e demandas (em m ³ /s) de cada reservatório para o cenário 13.....	110
Tabela 6.34	Vazões terminais (em m ³ /s) para o rio Capibaribe dos anos chuvosos.....	111
Tabela 6.35	Áreas otimizadas (em ha) por cultura e perímetro para os cenários do ano chuvoso	112
Tabela 6.36	Áreas otimizadas x áreas planejadas para os perímetros no ano chuvoso.....	113
Tabela 6.37	Receita líquida otimizada por cultura e por perímetro do ano chuvoso (em Reais x 1000)	114
Tabela 6.38	Resultados otimizados para a piscicultura extensiva nos três reservatórios.....	115
Tabela B.1	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Russinha	132
Tabela B.2	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Pombos.....	132
Tabela B.3	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Serra Grande.....	132
Tabela B.4	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Vitória de Santo Antão.....	133
Tabela B.5	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Apoti.....	133
Tabela B.6	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Chã de Alegria.....	133
Tabela B.7	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Bela Rosa.....	134

Tabela B.8	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Nossa Senhora da Luz.....	134
Tabela B.9	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Bengalas	134
Tabela B.10	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Glória do Goitá	135
Tabela B.11	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Mussurepe.....	135
Tabela B.12	Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Moreno	135
Tabela B.13	Precipitação média mensal (mm) obtida a partir do método de Thiessen, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, da bacia do Tapacurá	136
Tabela B.14	Precipitação média mensal (mm) obtida a partir do método de Thiessen, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989 da bacia do Goitá.....	136
Tabela B.15	Precipitação média mensal (mm) obtida a partir do método de Thiessen, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989 da bacia Várzea do Una	136
Tabela B.16	Vazões mensais (m ³ /s) observadas do posto Vitória de Santo Antão na bacia Tapacurá, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989.....	137
Tabela B.17	Vazões mensais (m ³ /s) observadas do posto Sítio Engenho na bacia do Goitá, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989.....	137
Tabela B.18	Dados de evaporação (mm) do período de 1968 a 1987 do posto evaporimétrico Curado	137
Tabela B.19	Postos de referência e os respectivos postos vizinhos considerados na análise de homogeneização das sub-bacias	138
Tabela B.20	Vazões afluentes mensais (m ³ /s) a montante do reservatório Tapacurá, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989	138
Tabela B.21	Vazões afluentes mensais (m ³ /s) a montante do reservatório Goitá de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989	139
Tabela B.22	Dados homogeneizados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Vitória de Santo Antão	139
Tabela B.23	Dados homogeneizados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Chã de Alegria.....	139

Tabela B.24	Dados homogeneizados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Nossa Senhora da Luz.....	140
-------------	--	-----

LISTA DE SIMBOLOS

$\alpha(l)$	Índice que representa a α -ézima vazão afluyente do reservatório
$v(l)$	Índice que representa o v -ézimo vertedor do reservatório
α_{jk}	Coefficiente que indica se uma cultura é plantada ou não
a	Coefficiente do ajuste da função cota x área x volume
A_c	Área plantada por cultura e perímetro
A_{cmax}	Área máxima plantada de cada cultura por perímetro
A_{cmin}	Área mínima plantada de cada cultura por perímetro
A_{est}	Área de drenagem até a estação fluviométrica
A_f	Área da seção do descarregador de fundo do reservatório
A_{jus}	Área de drenagem a jusante da estação fluviométrica
A_{pmax}	Limite máximo de área total que pode ser plantada por perímetro
A_r	Área da bacia hidráulica do reservatório
b	Coefficiente do ajuste da função cota x área x volume
B_v	Largura de base do vertedor
c	Coefficiente do ajuste da função cota x área x volume
C_a	Custo de água anual
C_{al}	Custo de alevinagem por unidade de área
C_{bomb}	Custo anual de bombeamento por hectare
C_f	Coefficiente de vazão do descarregador de fundo do reservatório
C_{man}	Custo anual de manutenção do sistema de irrigação por hectare
C_p	Custo de produção anual da cultura
C_{pmax}	Capacidade máxima permitida no reservatório
C_{prod}	Custo médio de produção anual da cultura
C_{trab}	Custo anual do trabalho para cada tipo de cultura
C_v	Coefficiente de descarga dependente da forma do vertedor do reservatório
dc	Fator de atualização monetária referente a expectativa de crescimento ou decréscimo nos preços
d_i	Fator de atualização monetária referente a taxa de inflação da moeda
E_{apl}	Eficiência da aplicação da irrigação
E_{irr}	Eficiência do sistema de irrigação

E_p	Evaporação no perímetro
E_r	Evaporação no reservatório
Erro _{fm}	Erro relativo na função mista
Erro _{fo}	Erro relativo na função objetivo
Erro _{fp}	Erro relativo na função penalidade
E _{sis}	Eficiência do sistema de distribuição de água
E _{to}	Taxa de evapotranspiração de referência
E _{tp}	Taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura
E _v	Taxa de evaporação média mensal
E _{vr}	Taxa de evaporação sobre o reservatório
$f(l)$	Índice que representa o f-ézimo descarregador de fundo do reservatório
F _m	Função mista
F _o	Função objetivo
F _p	Função penalidade
G	Dotação de água à zona radicular da cultura por capilaridade
g	Aceleração da gravidade
H _{dc}	Trabalho requerido médio por cultura em cada ano
H _f	Cota de jusante da geratriz inferior do descarregador de fundo do reservatório
H _r	Cota do nível d'água do reservatório
H _t	Cota da tomada d'água no reservatório
H _{tmax}	Cota máxima do reservatório
H _{tmin}	Cota mínima do reservatório
H _{vert}	Cota da soleira do vertedor do reservatório
H _{vmax}	Cota do nível d'água do reservatório que gera a lâmina vertente máxima projetada para o vertedor
j	Índice do tipo de cultura
k	Índice do perímetro irrigado
K _c	Coefficiente de cultivo por cultura
K _{TK}	Coefficiente do tanque evaporimétrico
l	Índice que indica a calha
LR	Necessidade de lixiviação dos sais que acumulam no solo cultivado
$\min_t A_{r_h}$	Área da superfície líquida mínima entre os meses de despesca no reservatório

MO	Mão de obra necessária para a irrigação
Na	Número de anos em estudo
nc	Número de culturas em estudo
ni	Número de perímetros irrigados em estudo
Nl	Necessidade de irrigação líquida da cultura
Nm	Número de meses em estudo
Pam	Taxa anual de amortização do investimento
Pc	Taxa de precipitação no mês
Pce	Taxa de precipitação efetiva no mês
Pdp	Produtividade média do pescado por unidade de área
Pest	Precipitação na bacia até a estação fluviométrica
Pirr	Custo de investimento de implantação do sistema
Pjus	Precipitação na bacia depois da estação fluviométrica
Pp	Precipitação no perímetro
Pr	Precipitação direta no reservatório
Pra	Preço da água por unidade de volume
Pre	Preço médio unitário da cultura
Prmp	Preço médio do pescado na região do reservatório
Prod	Produtividade anual da cultura
Qa	Vazão afluente ao reservatório
Qd	Vazão fixa para abastecimento
Qd(abast)	Vazão para abastecimento
Qd(desc)	Vazão descarregada para o rio
Qd(evap)	Vazão evaporada
Qd(irri)	Vazão para irrigação
Qentra	Vazão de entrada no nó
Qest	Vazão afluente à estação fluviométrica
Qf	Vazão de descarga de fundo no reservatório
Qi	Vazão para irrigação
Qirr	Lâmina mensal de água para irrigação
Qjus	Vazão afluente a jusante da estação fluviométrica
Ql	Vazão na calha do rio
Qlmax	Vazão máxima na calha do rio

Q_{lmin}	Vazão mínima na calha do rio
Q_s	Vazão terminal
Q_{sai}	Vazão de saída do nó
Q_t	Vazão de tomada d'água do reservatório
Q_{tmax}	Vazão máxima de adução na tomada d'água do reservatório
Q_{tmin}	Vazão mínima de adução na tomada d'água do reservatório
Q_{total}	Vazão total afluyente ao reservatório
Q_v	Vazão extravasada do vertedor
R_b	Receita bruta anual
R_l	Receita líquida da piscicultura
R_L	Receita líquida total
t	Indica o mês ou o ano em estudo
$t(I)$	Índice que representa a t-ésima tomada de água do reservatório
T_c	Trabalho requerido por colheita
Tol	Tolerância requerida para a convergência
V_{max}	Volume máximo do reservatório no mês
V_{min}	Volume mínimo do reservatório no mês
V_o	Volume inicial do reservatório
V_r	Volume do reservatório
V_{rmax}	Volume máximo admitido para o reservatório
V_{rmin}	Volume mínimo admitido para o reservatório
$V_{r_{morto}(J)}$	Volume morto do reservatório
V_{util}	Vida útil do sistema de irrigação
W	Reserva de água no solo

RESUMO

No Nordeste brasileiro, especificamente no semi-árido, as chuvas irregulares em termos de distribuição espaço-temporal e a alta taxa de evaporação fazem com que a água se torne elemento decisório no aspecto sócio-econômico da região. Neste trabalho, procurou-se estudar o comportamento da operação de um sistema constituído de três reservatórios em paralelo, Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, com múltiplos usos, localizados na Bacia do Capibaribe no Estado de Pernambuco no Nordeste do Brasil. O objetivo foi de maximizar os benefícios financeiros líquidos advindos da agricultura irrigada e da piscicultura e maximizar a geração de emprego, atendidos o requerimento de água para o abastecimento urbano, prioritariamente, necessidades hídricas da regularização e controle de cheia. O modelo ORNAP (Curi e Curi, 1999) de base mensal, desenvolvido em programação não linear foi aplicado na análise do comportamento do sistema hídrico com o intuito de buscar solução ótima para a sua operação. As funções objetivo, são sujeitas a diversas restrições, em forma de equações lineares e não lineares, que traduzem no processo de otimização, a nível mensal, as limitações físicas dos reservatórios, perímetros e equipamentos hidráulicos, limitações hidrológicas, legais, econômicas e sociais, que são próprias de sistemas de múltiplos usos. O comportamento do sistema hídrico foi analisado através de cenários, definidos para três situações climáticas diferentes (média, seca e chuvosa), que são completadas também pela definição de valores de volumes iniciais de entrada para o modelo. Em todos os cenários testados o uso prioritário para abastecimento humano foi garantido, além de gerar receita líquida com a irrigação e piscicultura. Os resultados mostraram que as vazões mensais de tomadas de água dos reservatórios para abastecimento do Recife obtidas com a otimização do sistema geram um melhor aproveitamento hídrico com conseqüente aumento da receita líquida para a região enquanto foram satisfeitas as restrições impostas à operação do sistema. Os vários testes realizados permitiram verificar a adequação e aplicabilidade do modelo ORNAP a sistemas de multi-reservatórios em paralelo com usos e objetivos múltiplos.

ABSTRACT

The aim of this work is to study the behavior of a system of three reservoirs, Tapacurá, Goitá and Várzea do Una, which are connected in parallel and designed for multiple uses. They are part of the Capibaribe river basin, PE, located in the northeast region of Brazil. The problem herein was to analyze and design optimal operating policies for both the reservoirs water releases and irrigation sites nearby in order to maximize the net profit, as well as the required labor, of irrigation and fishing activities. Several scenarios based on different reservoirs initial conditions, system setup, water demands and climate situations, which were characterized as average, dry and wet, were studied. The ORNAP software (Curi & Curi, 1999), which is based on a nonlinear programming model and works on a monthly base, was used to achieve optimal solutions for each scenario of the problem. All the physical (reservoirs, spillways, channels, outlets, pumps and water treatment station capacities and relationships), environmental (floods and environmental water discharges), legal, operational (flood control, human water demands and sustainabilities of the reservoirs) and agronomic (land use, cropping and irrigation patterns and managerial limitations) constraints were taken into account. The constraints were satisfied and the human water demands were guaranteed for all the achieved results. The results have show that the best economic performance is obtained when the reservoirs withdraws for the human water demands are not regulated, that is, when the program is allowed to choose the best monthly reservoirs water withdraws to couple with the human demands. Moreover, the results are dependent upon the reservoirs initial storages while considering the reservoirs sustainabilities. All the tests have also shown that the ORNAP is suitable and applicable to analyze this kind of problems.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

A escassez relativa de água está se tornando um dos maiores problemas da humanidade e a exploração racional dos recursos hídricos, considerando seus múltiplos usos e objetivos, é sem dúvida, um grande desafio a ser enfrentado neste século (Neto, 2000).

Uma explanação a respeito da conceituação dos usos e objetivos múltiplos se faz necessário para um melhor entendimento.

De acordo com Tucci (1993), dentre os recursos naturais, um dos que apresenta os mais variados, legítimos e correntes usos, é indubitavelmente a água. Nos dias atuais, em função dos progressos sociais e industriais que vem atravessando a humanidade, pode-se enumerar, entre outros, os seguintes usos múltiplos: abastecimento urbano, irrigação, piscicultura, geração de energia elétrica, controle de cheias, regularização de vazão, diluição de esgotos e preservação da flora e fauna.

Muitos destes usos podem ser considerados conflitantes, enquanto que outros são complementares. Um exemplo clássico de conflito no uso da água é a operação de um reservatório com a finalidade de promover o controle de cheias e gerar energia elétrica. Do ponto de vista do controle de cheias, o nível do reservatório deverá ser mantido próximo do mínimo, a fim de proporcionar um máximo amortecimento da cheia. Já a operação do reservatório visando a geração de energia elétrica requer níveis próximos do máximo, uma vez que a energia gerada é proporcional à carga hidráulica (Bath et al., 1987).

No Nordeste brasileiro, especificamente no semi-árido, as chuvas irregulares em termos de distribuição espaço-temporal e a alta taxa de evaporação fazem com que a água se torne elemento decisório no aspecto sócio-econômico da região.

A região em estudo, compreendida pelas bacias do Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, está inserida na bacia do Capibaribe no Estado de Pernambuco. A bacia do Capibaribe sofreu cheias catastróficas e excepcionais que ocorreram em anos passados gerando a necessidade da construção das barragens Tapacurá, Goitá e Carpina. Evitando assim que as águas excessivas do rio Capibaribe e de seus afluentes atinjam ao mesmo tempo o trecho mais baixo da bacia hidrográfica, onde se localizam áreas urbanas do Recife e de outros municípios. A barragem de Jucazinho foi construída com a finalidade de controlar as cheias da parte alta da bacia do rio Capibaribe. Além disso, a região passou por períodos de secas, os quais provocaram um racionamento rigoroso no ano de 1999, chegando a proporção de nove dias sem água para um dia com água na cidade do Recife.

O sistema de reservatórios da região estudada é responsável pelo abastecimento das cidades Camaragibe, São Lourenço da Mata e parte do Recife. Sendo também utilizado para irrigação sem o racional controle da água. O estudo deste complexo sistema reveste-se de grande importância para o processo de gerenciamento do mesmo, a fim de encontrar uma política de operação que atenda ao abastecimento da cidade do Recife, incrementalmente a economia local com os usos de irrigação e piscicultura e contemple critérios de sustentabilidade hídrica.

A complexidade dos problemas de engenharia de recursos hídricos requer um elaborado planejamento para que se chegue a uma distribuição mais justa da água entre seus vários usos e usuários. Para isso, técnicas de simulação e otimização vem sendo desenvolvidas e aplicadas a sistemas de médio e grande porte graças aos avanços tecnológicos nas áreas de desenvolvimento de software e hardware.

Por outro lado, a garantia do uso da água para gerações futuras depende do gerenciamento da mesma no presente. O desenvolvimento sustentável é um processo que propicia o aumento do potencial de atender as necessidades e aspirações humanas do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades. Neste contexto é preciso que os reservatórios de água recebam atenção especial, com estudos de operação de reservatórios que crescem juntamente com a evolução das técnicas de análises de sistemas e avanços computacionais.

Tradicionalmente, no planejamento de recursos hídricos, o único objetivo do projeto de reservatórios é a eficiência econômica, ou seja, a minimização dos custos do projeto. A análise custo/benefício torna-se limitada tendo em vista problemas que envolvem vários grupos de interesse e de usos conflitantes. Segundo Gobetti e Barros (1993) uma análise mais realista requer que sejam incluídos também objetivos ambientais, sociais e regionais. Tais objetivos seriam a garantia do bem-estar social e a garantia da sustentabilidade hídrica dos reservatórios no planejamento e gerenciamento destes sistemas. Neste estudo os objetivos ambientais são tratados em termos de redução dos perigos de inundações com a inclusão do volume de espera, de sustentabilidade hídrica do sistema e da garantia de vazões ecológicas mínimas. Os objetivos sociais e regionais são vistos como oferta de emprego e incremento na economia, além da redução dos riscos de colapso no atendimento a demanda urbana da Região Metropolitana do Recife. Estando os objetivos econômicos mesclados aos sociais e regionais já que eles contribuirão para elevar o padrão de vida da população local com repercussão a nível regional.

Neste trabalho, levando-se em consideração o valor que tem a água para o Nordeste brasileiro, propõe-se fazer a otimização da operação de um sistema constituído de três reservatórios em paralelo (Tapacurá, Goitá e Várzea do Una), com múltiplos usos, buscando a maximização de benefícios líquidos advindos da agricultura irrigada e geração de empregos, atendendo também outros requerimentos hídricos pertinentes ao sistema. A complexidade do sistema estudado se dá devido a problemas peculiares de déficit hídrico e conflitos de uso da água.

1.2 Objetivos

Os objetivos da pesquisa estão classificados em gerais e específicos. Os objetivos gerais são:

- Fornecer subsídios para um adequado planejamento da operação do sistema de múltiplos reservatórios em paralelo, Tapacurá, Goitá, Várzea do Una, sujeito a usos e objetivos múltiplos;
- Verificar a adequação do software ORNAP baseado em técnicas de otimização para o gerenciamento do sistema de três reservatórios em paralelo para múltiplos usos e objetivos.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a influência de diferentes cenários hidroclimáticos no desempenho do sistema;
- Estudar o comportamento do sistema quando sujeito a diferentes funções objetivo de forma isolada; Como por exemplo:
 - Maximização da receita líquida anual advinda da agricultura irrigada nos perímetros, avaliando-se também o retorno financeiro da piscicultura extensiva nos reservatórios;
 - Maximização da geração de empregos a nível local com a irrigação.
- Estudar o comportamento do sistema quando as vazões para abastecimento são fixadas.

A Programação Não Linear foi utilizada como ferramenta para o desenvolvimento do modelo, o qual foi executado no MATLAB (Matrix Laboratory), que é um ambiente computacional técnico de alto desempenho em cálculo e visualização numérica. A escolha da Programação Não Linear deve-se a grande vantagem em relação a sua abrangência. Segundo CIRILO (1997), uma vez elaborado o modelo matemático, que descreva o sistema a otimizar, normalmente nenhuma simplificação é necessária em termos de formulação, o que, geralmente, aumenta a precisão nos resultados a serem obtidos.

2 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

No desenvolvimento de qualquer sociedade os recursos hídricos desempenham um papel fundamental, não só do ponto de vista econômico, mas também com a preocupação ambiental e a participação pública. É dentro deste contexto de desenvolvimento sócio-econômico-ambiental que o planejamento e a gestão integrada de recursos hídricos devem ser discutidos e analisados. Planejar os recursos hídricos envolve uma série de atividades que culminam com o uso de técnicas de análise de sistemas.

2.1 Modelos de Análise de Sistemas de Recursos Hídricos

Segundo Braga *et al* (1998), a análise de sistemas de recursos hídricos é um enfoque sistêmico através do qual os componentes do sistema de recursos hídricos e suas interações são descritas em termos quantitativos por meio de equações matemáticas e funções lógicas. Em geral, procura-se a combinação de elementos do sistema que produza o melhor resultado, ou o ótimo, da função objetivo. Isto não significa que o problema se reduz em determinar o mínimo ou o máximo de uma equação (função objetivo). Além de determinar a melhor solução, dentro de critérios estabelecidos, este enfoque permite que se estruture o problema. É na fase da estruturação do problema que os aspectos importantes são definidos. Ribeiro (1990) considera a análise de sistemas de recursos hídricos uma ferramenta imprescindível para os profissionais do gerenciamento de recursos hídricos.

Conforme Loucks *et al.* (1981) e Yeh (1985), na análise de sistemas de recursos hídricos basicamente têm-se duas classes de modelo: otimização e simulação.

No modelo de otimização o objetivo do projeto é representado analiticamente através de uma função objetivo que será maximizada ou minimizada. No modelo de simulação não existe a preocupação de determinar o conjunto de elementos ou regra operativa ótima e sim analisar cenários alternativos e analisar o comportamento do sistema.

Modelos de otimização e simulação têm sido aplicados a estudos de planejamento de recursos hídricos desde a década de 60. Entretanto, dificuldades como: tamanho dos programas na solução de problemas complexos, falta de comunicação entre tomadores de decisão e analistas, consideração de múltiplos objetivos, inclusão de aspectos não quantitativos no processo de decisão, entre outros, fizeram com que a utilização destas técnicas ficasse prejudicada em aplicações práticas de engenharia. Graças ao desenvolvimento expressivo na capacidade de armazenamento de dados e velocidade de processamento do microcomputador na última década, incluindo na parte de software desenvolvimentos na linguagem de programação de alto nível, foi possível a introdução destas técnicas em ambiente computacional amigável. Este fato quebrou a grande barreira de interação homem-máquina que existia antes destas facilidades. Surge desta forma o conceito de modelos de visão compartilhada que permitem a participação do tomador de decisão na formulação do modelo de simulação do sistema. Surgem também os sistemas de suporte a decisão que possibilitam visualização adequada das conseqüências das alternativas, interação do decisor, consideração de múltiplos objetivos, utilização simultânea de otimização e simulação etc.

2.2 Métodos dos Modelos de Otimização e Simulação

Os principais métodos aplicados nos modelos de otimização são as programações: linear, não linear e dinâmica. A programação linear se aplica quando todas as funções (objetivo e restrições) são lineares, a programação não linear é usada quando existem funções não lineares (objetivo ou restrições) e a programação dinâmica se aplica quando o problema envolve um processo de decisão seqüencial em vários estágios. Os modelos de simulação são um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em seqüência lógica,

que descrevem a operação do sistema no espaço e no tempo, não determinam a política ótima de operação.

Barbosa (1997) afirma que a programação linear é a técnica de otimização mais empregada na área de recursos hídricos, devido a:

- flexibilidade para adaptação a uma grande variedade de problemas;
- maior facilidade de entendimento, comparada a outras técnicas de otimização;
- capacidade de tratar problemas de grande porte, comum em recursos hídricos e
- disponibilidade de pacotes computacionais, em nível comercial, para pronta utilização.

Em contrapartida a essas vantagens, registra-se a limitação quanto à exigência da linearidade das funções, não encontrada em muitas aplicações a problemas de recursos hídricos.

A programação não linear caracteriza-se por não possuir um método geral de resolução dos seus problemas, tal qual o método simplex na programação linear. Ela utiliza métodos numéricos iterativos, gerando soluções a cada passo (são muitos algoritmos e quase sempre voltados para problemas específicos, se prendendo a características diversas tais como continuidade, unimodalidade, diferenciabilidade de primeira ordem e/ou de segunda ordem, etc), e, portanto, usualmente requerendo a utilização do computador. Isto acarreta algumas dificuldades, tais como a de obter uma solução inicial viável para o início do processo iterativo em alguns métodos. Outra dificuldade advém do uso do computador, exigindo cuidado, tal como escalonamento de variáveis, para reduzir os erros numéricos computacionais. Uma outra característica é a inexistência de critérios absolutos para comparação entre os vários algoritmos existentes. O que se faz é comparar algumas características não definidas precisamente, tais como: simplicidade computacional, tempo de máquina necessário para atingir um ponto ótimo a partir de um ponto inicial qualquer, memória necessária, rapidez de convergência, sensibilidade a erros computacionais, etc. (Mateus et al., 1986).

O nível de complexidade da programação não linear cresce substancialmente quando comparada a programação linear. No entanto, por ser um caso mais geral que pode representar os processos físicos, que em sua maioria são não lineares, mais fidedignamente, é preferível o uso da programação não linear ao uso de outras técnicas de programação.

Conforme Barros (1997) a programação dinâmica propõe a seguinte linha de raciocínio para solucionar problemas de decisão seqüencial:

- divide o problema geral em estágios;
- determina-se o ótimo em cada estágio;
- relaciona-se o ótimo de um estágio a outro através de uma função recursiva;
- percorre-se todos os estágios para determinar o ótimo global.

A desvantagem da programação dinâmica é a “praga da dimensionalidade”, que ocorre quando a discretização das variáveis de estado é muito elevada, dificultando a busca do ótimo.

Braga *et al* (1998) define a simulação como uma técnica de modelagem usada para aproximar a situação física de uma realidade computacional, representando as características mais usuais do sistema por equações algébricas. Seu objetivo é representar e operar o sistema de forma mais detalhada possível e fornecer informações para avaliar o comportamento do sistema real. A vantagem das técnicas de simulação está no fato de ser aplicável a sistemas complexos que descreva, matematicamente, o seu comportamento físico e operacional. A desvantagem é que não determinam a política ótima de operação.

2.3 Alguns Estudos de Caso

Muitos trabalhos realizados no Brasil e no exterior utilizaram para otimização da operação de reservatórios, técnicas de Programações Linear, Não linear e Dinâmica (Hall *et al.*, 1968, Reville *et al.*, 1969, Barbosa, 1978, Yeh, 1985, Vieira Neto *et al.*, 1987, Zahed, 1987, Medeiros e Occhipinti, 1987, Costa *et al.*, 1989, Barros e Braga Jr., 1991, Galvão *et al.*, 1994, Oliveira e Lanna, 1997, Curi *et al.*, 1997, Mello Jr. e Matos, 1999, Sinha *et al.*, 1999, Andrade e Curi, 2000, entre outros).

Hall *et al.* (1968) usaram a Programação Dinâmica para otimizar a operação de um reservatório de múltiplos usos, verificando que as equações que ilustram o procedimento de um reservatório de várias finalidades podem ser derivadas e operadas como parte de um sistema completo.

Reville *et al.* (1969) desenvolveram uma regra de decisão linear no gerenciamento de reservatórios para modelos estocástico e determinístico. A regra foi testada para um modelo estocástico, mostrando que a vantagem mais representativa é que o risco é feito

explicitamente nos problemas estocásticos. Chegando a conclusão que, nas estruturas usadas, o emprego de tal regra produz também um número de vantagens e diversas limitações.

Barbosa (1978) aplicou os modelos propostos por Revelle *et al.* (1969) ao rio Masparro, situado em território Venezuelano, com o objetivo de minimizar a capacidade da represa de propósitos múltiplos e a obtenção de uma regra geral de operação a nível mensal, denominada Regra de Decisão Linear. Os resultados obtidos mostraram que as capacidades do modelo estocástico são menores que os obtidos na aplicação do modelo determinístico, o que já era esperado pois, adotou-se no modelo estocástico um risco de 10% de falharem as restrições enquanto no modelo determinístico estimou-se um risco de 9%.

Yeh (1985) fez uma revisão de modelos matemáticos desenvolvidos para operação de reservatórios incluindo simulação.

Vieira Neto *et al.* (1987) utilizaram a otimização matemática no dimensionamento de projeto de irrigação do Vale do Baixo Acaraú, Ceará. O modelo de otimização foi apresentado por Lanna (1986), o qual na sua forma mais geral, é não linear. O objetivo adotado foi o de maximizar o benefício líquido resultante do valor atualizado a uma taxa de desconto 12% dos fluxos de benefícios da produção agrícola subtraída pelos custos de investimento, operação e manutenção do sistema. Como resultados obteve-se um incremento de cerca de US\$ 104 milhões de benefícios líquidos, ou de US\$ 2 mil/ha irrigado, em relação ao projeto obtido pela análise tradicional, que não utilizou técnicas de otimização matemática.

Medeiros e Occhipinti (1987) usaram a Programação Linear Inteira na otimização do aproveitamento múltiplo de recursos hídricos da bacia do Alto Tiête e Bacias vizinhas, concluindo que a redução do número de variáveis de decisão obtida pela pré-fixação judiciosa de algumas variáveis reduz o número de possíveis soluções.

Zahed (1987) fez uma discussão sobre a aplicação de modelos na operação de sistemas de reservatórios, classificando os modelos existentes em otimizantes e não otimizantes. Concluindo que os modelos de otimização e de simulação podem ser utilizados em conjunto e que não existe uma metodologia consagrada para esses estudos devido à diversidade de características dos problemas.

Costa *et al.* (1989) utilizaram a Programação Dinâmica Estocástica na operação de sistema hidrotérmicos a fim de minimizar o valor do custo de operação ao longo do tempo.

Cada sub-problema de operação foi resolvido usando-se um algoritmo de fluxo de custo mínimo, o qual quanto mais apropriado para este tipo de problema, menor o tempo para obter resultados.

Barros e Braga Jr. (1991) usaram a Programação Dinâmica para criação do modelo de otimização estocástica implícita, o qual poderá ser usado na operação de sistemas de reservatórios considerando múltiplos objetivos. O método foi testado no sistema CESP do rio Paranapanema, obtendo resultados que permitem concluir a viabilidade e aplicabilidade do modelo em planejar de forma eficiente a operação de um sistema de reservatórios de múltiplos objetivos. A boa performance do modelo foi comprovada tanto pela série histórica de 58 anos, como pela série gerada de 1000 anos.

No trabalho de Galvão *et al.* (1994) a otimização do uso da água em reservatórios no semi-árido nordestino foi realizada através da Programação Dinâmica. O modelo exprime uma estratégia racional de utilização da água, propondo a redução gradual do atendimento durante o período onde o reservatório provavelmente ainda tem água armazenada, evitando colapsos súbitos.

Oliveira e Lanna (1997) aplicaram, em conjunto, a Programação Linear e Simulação para a bacia do rio Acaraú no Ceará a fim de otimizar o sistema de múltiplos reservatórios atendendo a múltiplos usos. Concluindo que os resultados obtidos com a análise sistêmica de recursos hídricos, adotando técnicas de otimização e simulação matemática, permitem a adoção de critérios mais racionais e obtenção de resultados mais eficientes, sob qualquer ótica de análise que tenha sido estabelecida.

Curi *et al.* (1997) fizeram a alocação ótima da água do reservatório Engenheiro Arco Verde para irrigação via Programação Não Linear, determinando os valores máximos das áreas para irrigar, as quais o reservatório teria condições de alocar água.

Mello Jr. e Matos (1999) apresentaram uma alternativa de solução para o problema de otimização do uso da água de um reservatório para fim de regularização, utilizando um modelo de Programação Dinâmica Estocástica. Os resultados obtidos por este modelo coincidem com aqueles encontrados com um modelo estocástico de programação linear.

Sinha *et al.* (1999) aplicaram a Programação Não linear para exame de sistema de reservatórios com múltiplos usos. Chegando a conclusão que o modelo levou a uma redução no armazenamento de água do sistema e no custo de desenvolvimento.

Andrade e Curi (2000) usaram a Programação Não Linear para estudar, sob a ótica da otimização, o complexo sistema de reservatórios em série, Jucazinho e Carpina, sujeitos a usos complementares e conflitantes, e três perímetros irrigados na região.

A Programação Não linear de acordo com a literatura consultada ainda não foi usada para otimização da operação conjunta de reservatórios em paralelo com diversos usos e múltiplos objetivos acoplada a modelos de otimização de áreas irrigadas e usos de piscicultura, controle de cheias e abastecimento urbano. Neste modelo, as variáveis de decisão são não só os volumes mensais dos reservatórios e as respectivas políticas de liberação de fluxo, mas também as áreas cultivadas com cada uma das culturas escolhidas para irrigação e, conseqüentemente, os volumes mensais apropriados para irrigar, além da inserção de critérios de sustentabilidade hídrica. Tal estudo constitui uma contribuição no que diz respeito ao planejamento e gerenciamento do uso da água nas bacias hidrográficas dos respectivos reservatórios e, principalmente, na compreensão da operação de um complexo sistema de múltiplos reservatórios sujeito a múltiplos usos e objetivos na região Nordeste do Brasil.

3 O SISTEMA DOS RECURSOS HÍDRICOS EM ESTUDO

3.1 Localização

A região em estudo está localizada na porção nordeste da Mesoregião Geográfica do Agreste do Estado de Pernambuco no Nordeste Brasileiro (ver Figura 3.1). As sub-bacias aqui estudadas fazem parte da bacia do rio Capibaribe, que é a maior entre as bacias litorâneas, entre as latitudes $7^{\circ} 55'$ e $8^{\circ} 13'$ sul e longitude de $35^{\circ} 04'$ e $35^{\circ} 30'$ a oeste de Greenwich. São abrangidas pelas Cartas Plani-Altimétricas de Vitória de Santo Antão (folha SC25-V-A-II) e Limoeiro (folha SB25-Y-C-V), publicadas pela SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE, na Escala 1:100.000. As sub-bacias são denominadas, neste estudo, de bacias das barragens de Tapacurá, Várzea do Una e Goitá, conforme Figura 3.2.

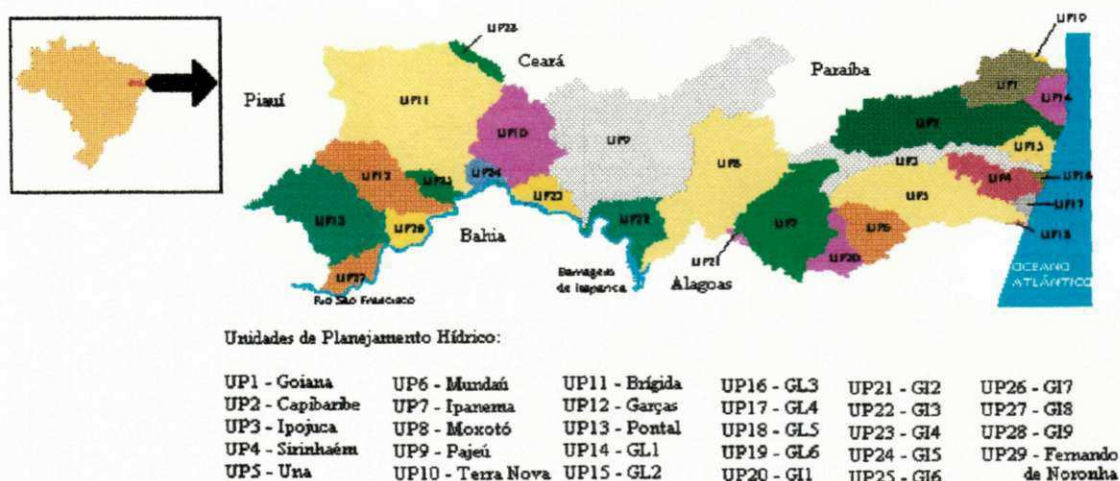


Figura 3.1 - Localização da bacia do Capibaribe no Estado de Pernambuco.

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco, 1998.

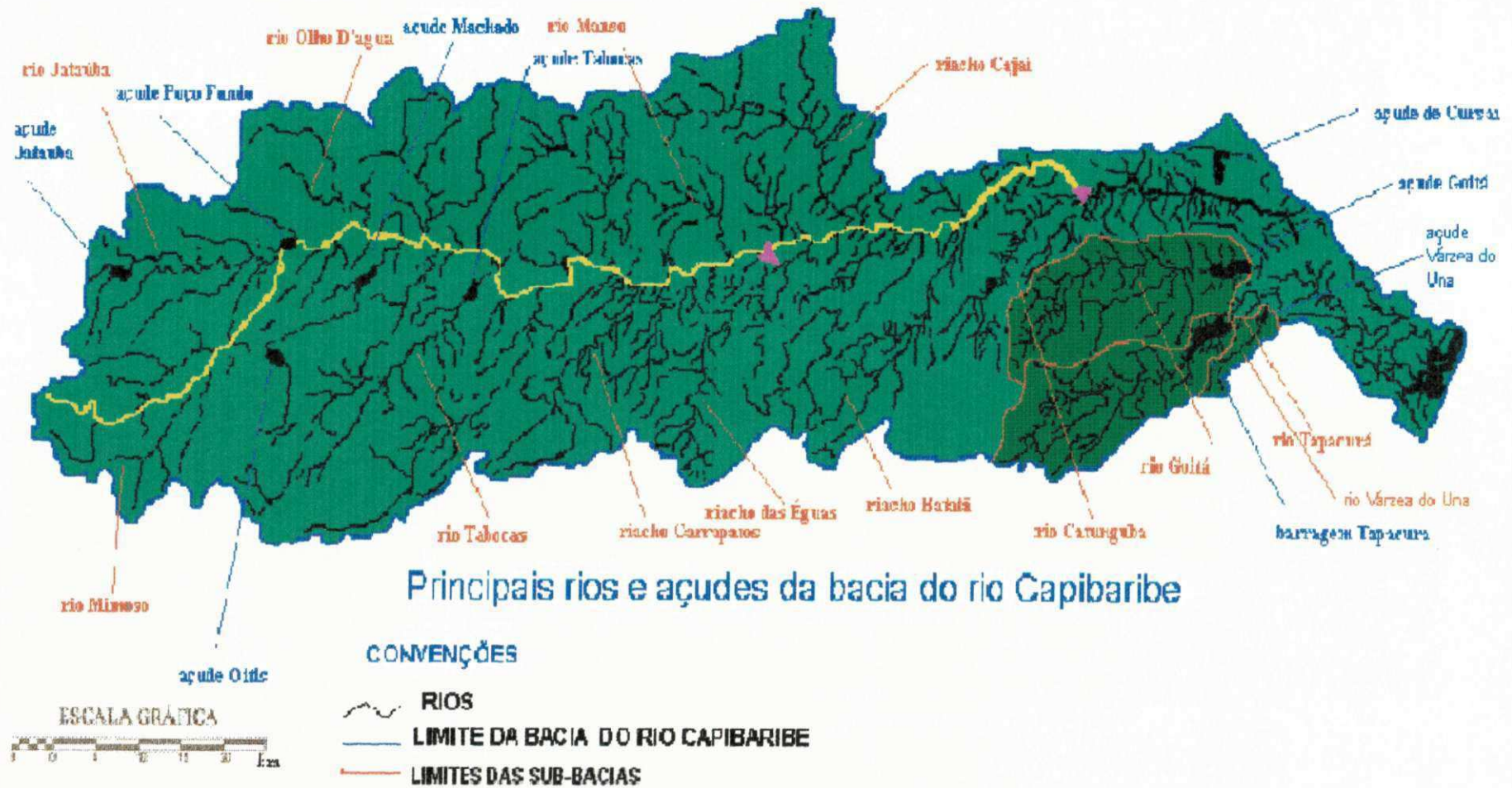


Figura 3.2 – Localização das sub-bacias em estudo na bacia do Capibaribe.
 Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco, 1998.

O rio Capibaribe possui como afluentes, os rios Tapacurá, Goitá, Fazenda Velha, Aldeia Velha, Tapocas, Pará, Tapera, Muribara, Caiá e Jataúba.

A bacia em que está inserida a barragem Tapacurá limita-se ao norte com as bacias dos rios Goitá e Cotunguba, a oeste com a bacia do rio Cotunguba, ao sul com as bacias dos rios Ipojuca, Pirapama e Jaboaão e a leste, com as dos rios Duas Unas e Muribara.

Os maiores afluentes do rio Tapacurá, localizados em sua margem direita, são: o rio Várzea do Una, os riachos Natuba, Miringaba e Água Azul. A estes se seguem os riachos Jurubeba, do Meio e Gameleira, localizados na margem esquerda.

A bacia da barragem Várzea do Una faz parte da bacia do Tapacurá e situa-se ao sul e sudeste da barragem.

A bacia do açude Goitá limita-se ao norte com o rio Capibaribe, a oeste com a bacia do rio Cotunguba ao sul com a bacia do Tapacurá e a leste com o rio Capibaribe.

Os afluentes do rio Goitá pela margem esquerda são os riachos Tabatinga, Cajueiro, Jacaré, Caipora, Caiana, Vargem Grande, Dique, Café, Braga, Tanque, Macambira, Monjolo, Salinas e Macacos. Pela margem direita são os riachos do Azeite, Açude Grande, Palheta, Bumbá, Jamaformo, Massaranduba, Grota Funda, Camarin, Ribeirão da Onça e rio Aratangi.

As bacias hidrográficas de contribuição das barragens do Tapacurá, Goitá e Várzea do Una possuem 360 km², 450 km² e 38 km² respectivamente.

As barragens do Tapacurá e Várzea do Una fazem parte do Sistema Tapacurá, o qual será descrito a seguir, a partir da Figura 3.3.

3.2 Descrição do Sistema Tapacurá

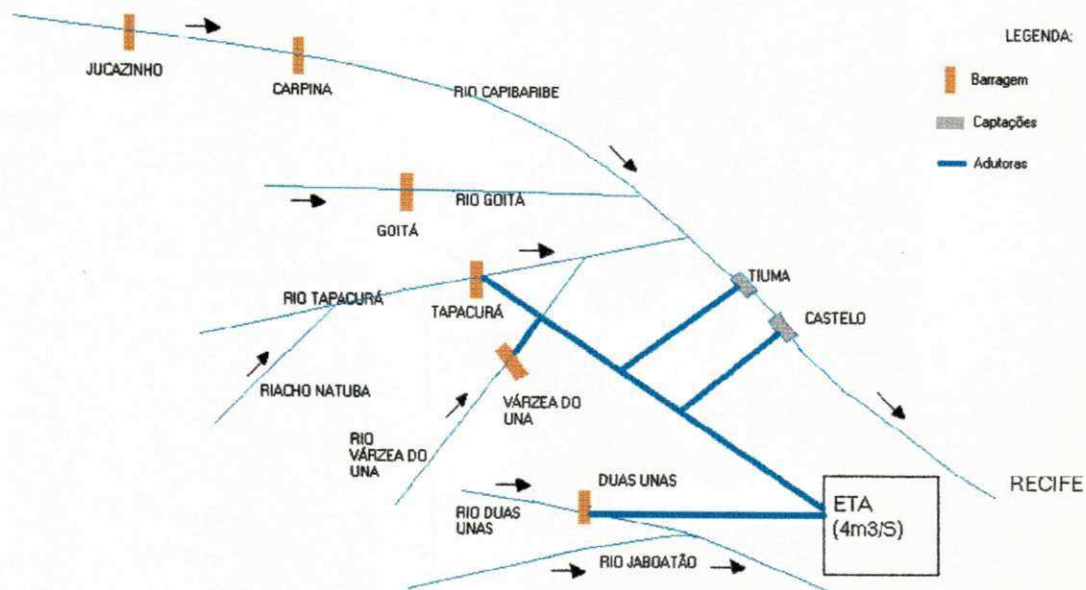


Figura 3.3 - Layout do Sistema Tapacurá.

O sistema Tapacurá é, isoladamente, o maior contribuinte dos sistemas integrados da Região Metropolitana do Recife (RMR), sendo o reservatório de Tapacurá o mais importante dos mananciais de superfície. Esse sistema é composto, além do reservatório de Tapacurá, pela barragem Várzea do Una no rio Várzea do Una, pela barragem Duas Unas no rio Duas Unas e por duas captações a fio d'água no próprio rio Capibaribe, denominadas de Tiúma e Castelo. A seguir serão descritos cada um dos componentes do sistema Tapacurá e, também, a barragem Goitá.

Barragem Tapacurá

Conforme os dados do Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica - PQA/PE – Relatório nº 7 (1997), a barragem do Tapacurá foi construída como parte do esquema de proteção do Recife contra as enchentes do rio Capibaribe, laminando uma vazão máxima do rio Tapacurá, afluente do Capibaribe, em $150 \text{ m}^3/\text{s}$, ao mesmo tempo em que as águas nela represadas deveriam servir para o suprimento hídrico desta

Capital e outras localidades sob sua área de influência na RMR. Situa-se no Município de São Lourenço da Mata, a cerca de 31 km do centro do Recife e teve sua exploração iniciada no ano de 1977.

O conjunto das obras, para barramento do rio Tapacurá e formação do reservatório que integra o sistema de abastecimento, é composto de uma barragem principal, em concreto-massa e mais duas barragens de terra que funcionam com diques laterais, conforme Figura A.1 no anexo A.

O nível das águas no reservatório é condicionado pelas características do maciço principal, onde se localiza o sangradouro, o qual disciplina a passagem das cheias.

Em sua concepção original, a barragem principal apresentava as seguintes características básicas:

- Área da bacia hidrográfica.....360 km²
- Altura máxima da barragem.....40 m
- Cotas do vertedor - inferior (central).....100 m
- superior (laterais).....104 m
- Capacidade do reservatório – cota 100.....70,7 x 10⁶ m³

Em 1987 a capacidade volumétrica aumentou de 70,7 para 98,7 milhões de metros cúbicos depois da cota da soleira do vertedor central ser elevada de 100 para 103 metros.

Ainda de acordo com o PQA/PE (1997) o cálculo da vazão a ser regularizada pela barragem de Tapacurá foi, inicialmente, efetuado pelo GRUPO DE ESTUDOS DA BACIA DO CAPIBARIBE – DRN – SUDENE, considerando-se a concepção original da obra, com a acumulação limitada pela cota 100 m. À época de realização desse estudo a bacia não dispunha de uma rede de pluviômetros adequada, nem de uma longa série de observações fluviométricas. Baseado nos escassos dados disponíveis, o referido Grupo estimou uma descarga regularizada em 3,0 m³/s. Com fundamento neste valor inicial foram dimensionadas as principais unidades do Sistema Tapacurá, proporcionando a adução da vazão fornecida pela barragem (3,0 m³/s) até a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Curado (hoje Marechal Castelo Branco), onde se juntaria às águas aduzidas da barragem de Duas Unas (1,0 m³/s), garantindo uma afluência a ETA de 4,0 m³/s. No entanto, quando da elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos da RMR, em 1982, foi feita uma reavaliação de descarga regularizada em Tapacurá, agregando-se, então, novos dados que permitiram gerar uma série de deflúvios de 54 anos de duração, caracterizando-se a regularização, pela represa, da seguinte maneira:

- 2,0 m³/s poderiam ser fornecidos sem falha alguma.
- 2,1 m³/s poderiam ser liberados, com a necessidade de racionamento, para 1,05 m³/s, apenas em dois curtos períodos de 3 meses, cada, nos anos de estiagem mais severas.

Considerando o baixo risco dessa segunda opção, foi a mesma adotada como vazão explorável, em regime normal, no manancial.

A constatação de ser menor a potencialidade hídrica da represa, mostrou também uma capacidade ociosa nos componentes do sistema a serem por ela alimentados, especialmente a adutora e a estação de tratamento. Para cobrir o déficit verificado, foi feita a já referida elevação da soleira do vertedor para a cota 103 m, proporcionando um aumento de descarga regularizada em 0,6 m³/s. Logo, a vazão explorável em Tapacurá passou a ser de 2,70 m³/s.

Além da redução do déficit, outras fontes foram mobilizadas para incorporação ao sistema, seja para permitir seu funcionamento a plena capacidade, ou para a geração de excedentes que poderiam atender zonas próximas.

Barragem Duas Unas

A barragem de Duas Unas, situada a cerca de 180 m a montante da travessia do rio Duas Unas, é composta por uma barragem mista, com vertedor em concreto e alas laterais em terra compactada. As características deste manancial são:

- Bacia hidrográfica.....75 km²
- Área do espelho de água.....3,34 km²
- Capacidade de acumulação (cota 70 m).....24,2 x 10⁶ m³
- Altura máxima da barragem.....18,60 m

Segundo o PQA/PE (1997) o valor da descarga é de 1,0 m³/s para o abastecimento público. A garantia dessa vazão foi um dos condicionantes do dimensionamento da ETA Marechal Castelo Branco, conforme já referido quando dos comentários sobre a barragem do Tapacurá. O início da exploração deste manancial era previsto para o ano de 1985. No entanto, falhas no sistema Tapacurá anteciparam a implantação e operação das obras para 1978.

Captações

Conforme PQA/PE (1997), o suprimento do sistema Tapacurá, visando o abastecimento da RMR, retira água do reservatório da barragem Tapacurá, complementando as necessidades através da mistura da água do rio Capibaribe aduzida de dois pontos:

- **Tiúma**, situada a montante de uma barragem de nível sob a ponte daquela localidade, com capacidade inicial de 250 l/s e ampliada posteriormente para permitir uma exploração de 500 l/s e
- **Castelo**, localizada a montante de São Lourenço da Mata, no trecho contíguo à fábrica de rações PURINA, constituída de duas elevatórias com capacidade para recalcar, cada uma delas, 500 l/s.

O sistema de adução de Tiúma foi concebido após a seca de 1992-94, inicialmente para substituir de forma emergencial o manancial de Tapacurá, que chegou a secar. Mais recentemente, representa um reforço ao sistema. O Capibaribe foi regularizado através da operação conjunta dos reservatórios de Carpina, no próprio rio Capibaribe, e de Goitá, no afluente de mesmo nome. Assim, Carpina e Goitá, juntas, asseguram uma descarga mínima correspondente à soma da capacidade instalada das captações existentes.

A captação de Castelo teve sua operação iniciada em outubro de 1993.

O PQA/PE (1997) afirma que as descargas naturais no trecho do rio onde estão instaladas as captações referem-se às contribuições das parcelas da bacia não dominadas por barragens de acumulação. Entre a barragem do Carpina e a ponte Bicopeba, próximo a Tiúma, excluindo-se a bacia do Cursai, cujas águas são represadas para o abastecimento de várias comunidades, tem-se uma área de bacia remanescente de 260 km². A partir disto, em estudo realizado objetivando o aproveitamento múltiplo da barragem de Carpina (CISAGRO, 1991), a acumulação desta sub-bacia, correspondente a uma estiagem decenal, foi estimada em 500 l/s. O que significa que esta vazão seria suficiente para fazer operar apenas uma das captações implantadas.

Barragem Goitá

Conforme a COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS DE PERNAMBUCO - CISAGRO (1990), a barragem Goitá foi construída entre o final dos

anos 1976 e 78 como parte do sistema de controle de cheias. Permite laminar uma vazão efluente máxima de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, fazendo diminuir a probabilidade de enchentes na RMR. Situa-se no Município de Paudalho distante 27,8 km do Recife. O conjunto das obras que integram o projeto desta barragem consta de: barragem de concreto simples tipo gravidade, dispositivos de descarga de fundo, ponte de concreto protendido sobre o sangradouro e diques de fechamento em terra, conforme Figura A.2 no Anexo A. As características principais da barragem são:

- Área da bacia hidrográfica..... 450 km^2
- Cota da soleira do sangradouro..... 78 m
- Capacidade de acumulação..... $53 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Altura máxima da barragem..... 38 m

Barragem Várzea do Una

De acordo com o PQA/PE (1997), a barragem Várzea do Una situa-se próxima à do Tapacurá, sendo a distância entre ambas da ordem dos 5 km. A situação geográfica deste manancial facilita sua integração ao Sistema Tapacurá, embora possa vir a ser explorado isoladamente, fornecendo água para o suprimento de São Lourenço da Mata e Camaragibe, comunidades estas localizadas em sua área de influência. Trata-se de uma barragem de terra compactada de seção homogênea, com sangradouro lateral em canal aberto ao lado esquerdo da represa, de acordo com Figura A.3 no anexo A. Suas características principais são:

- Área da bacia hidrográfica..... 38 km^2
- Cota da soleira do sangradouro..... 104,7 m
- Cota de coroamento..... 107,7 m
- Capacidade de acumulação..... $11,6 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Área máxima inundável..... 139 ha
- Altura máxima da barragem..... 25,7 m

O estudo hidrológico feito pelo PQA/PE (1997) para avaliação da capacidade de regularização da represa levou em conta várias hipóteses de acumulação, aplicando-se, para cada uma delas, um modelo de simulação da operação do respectivo reservatório, utilizando-se uma série gerada de deflúvios de 47 anos (1937-1984). Para a alternativa adotada ($V = 11,6 \text{ Hm}^3$), a vazão regularizada obtida foi de $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$, sem riscos de falhas

ou necessidade de racionamento. Para uma descarga de $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ a possibilidade de falhas ocorre em 2 anos do período estudado, com colapsos de 28 dias em cada ano, caso não seja adotado racionamento. Considera-se a vazão regularizada de $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ como disponibilidade hídrica segura do manancial. A exploração das águas da barragem Várzea do Una teve início em abril de 1994, ainda em regime emergencial.

Abastecimento da RMR e Enchentes

O Sistema Tapacurá tem suas águas direcionadas para o abastecimento do Recife, São Lourenço da Mata, Camaragibe. A distribuição se inicia a partir dos três reservatórios contíguos à ETA Marechal Castelo Branco, no Curado. As alimentações de Camaragibe, São Lourenço da Mata e dos conjuntos e vilas populares situadas mais próximas à ETA são feitas por sub-adutoras independentes daquela que abastece o Recife. Este sistema contribui com as parcelas mais significativas para alimentação dos grandes anéis do Recife.

Segundo o Projeto Vale do Capibaribe-PE, desenvolvido pelo Departamento Nacional de Obras de saneamento (DNOS) num programa especial de controle de enchentes e recuperação de vales, a cheia mais volumosa já registrada no Recife foi da ordem de $3.400 \text{ m}^3/\text{s}$ em 1975, enquanto o leito do rio só era capaz de conter, sem transbordar, cerca de $700 \text{ m}^3/\text{s}$. Por isso, além das barragens de contenção de enchentes construídas no Capibaribe e afluentes, o programa para proteção do Recife contra o risco de novas inundações previa intervenções na calha desse rio, no trecho compreendido entre as proximidades da fábrica de azulejos IASA e o extremo de jusante do seu chamado "Braço Morto", pouco após a Ilha do Retiro. Com as obras de dragagem e retificação do curso o leito do rio Capibaribe, no Recife, poderia escoar, sem afogar as margens, $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Em condições normais a barragem de Carpina permite laminar uma vazão efluente máxima de $300 \text{ m}^3/\text{s}$. O rio Goitá, represado, escoar cerca de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ e o Tapacurá, nas mesmas condições, $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Calcula-se que a contribuição, fora do controle das barragens, seja de $750 \text{ m}^3/\text{s}$. Somados esses volumes, conclui-se que, nas condições mais desfavoráveis até agora registradas, o volume de vazão do Capibaribe, no Recife, não ultrapassa a $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$. Estando a capacidade do seu leito aumentada para $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$, pode-se admitir com segurança que as possibilidades de inundações do rio Capibaribe são

extremamente remotas. Em 1991, em complementação aos estudos então concebidos no Plano Diretor para Desenvolvimento Integrado da bacia hidrográfica do rio Capibaribe (Instituto de Planejamento de Pernambuco – CONDEPE, 1978) tendo por objetivo a complementação do Programa de Controle de Enchentes da bacia, o Governo Federal através do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) inicia a elaboração de estudos de viabilidade técnica e projeto básico da barragem de Jucazinho, no rio Capibaribe, no Município de Surubim, a 128 km a oeste do Recife, culminando com a conclusão da obra em fevereiro de 1998. A barragem Jucazinho tem finalidade múltipla, considera abastecimento humano, irrigação, produção de pescado, perenização de vazão e controle de enchentes, protegendo contra inundações as cidades de Salgadinho e Limoeiro, situadas imediatamente a jusante do empreendimento, conferindo ainda um aumento do fator de segurança relativo à proteção do Recife contra enchentes de menor probabilidade do que a que ocorreu em 1975, aliviando inclusive o compromisso da barragem de Carpina em atuar exclusivamente como um reservatório de acumulação nula, para controle de cheias, como até então.

Cogita-se a utilização da barragem do Goitá, construída originalmente para o controle exclusivo de enchentes, com acumulação nula, como fonte de recursos hídricos, para usos diversos na região por ela influenciada, desde que assegure o cumprimento de sua finalidade original com riscos perfeitamente aceitáveis.

Cogita-se também o aproveitamento da barragem de Carpina para reforço do sistema da RMR. As alternativas propostas pela CISAGRO (1990) são as seguintes:

- Implantação de um sistema próprio, destinado ao atendimento de parte da nucleação oeste da RMR. Neste caso, a localização da ETA para esse sistema assim como a forma de adução (pelo leito do rio, por um canal marginal ao rio ou por conduto forçado) serão definidos quando da elaboração de estudos mais detalhados.
- Reforço do futuro sistema de produção e tratamento do Várzea do Una. Atualmente está prevista a retirada já de 400 l/s do Capibaribe. Por esta alternativa, a depender da qualidade da água, esse sistema será ampliado pela inclusão da vazão que venha a ser regularizada no Carpina;
- Reforço do sistema Botafogo - constituído pela barragem de Catucá, rios Conga, Tabatinga, Pilão e Cumbe - (atualmente deficitário por causa de uma anomalia hidrológica) a partir do Capibaribe, através de bombeamento do ponto do leito que mais se aproxima da bacia hidrográfica do Botafogo. Esta alternativa reforçaria o sistema da

Nucleação Norte, que atende a uma concentração de áreas críticas de abastecimento atualmente considerada como a segunda maior da RMR;

- Reforço do sistema Tapacurá/Duas Unas, através de ampliação do sistema de recalque e da ETA Castelo Branco já existentes, próxima à Usina Tiúma. Com esta alternativa amplia-se o atendimento das Nucleações Oeste e Sul da RMR.

3.3 Dados Gerais do sistema Tapacurá

Neste item serão apresentados alguns dados referentes ao sistema Tapacurá. Cabe ressaltar que o sistema, neste estudo, é composto pelas barragens Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, além das captações de Tiúma e Castelo.

Finalidades das barragens

A Tabela 3.1 mostra os usos atuais e os implementados para este estudo das barragens Tapacurá, Goitá e Várzea do Una.

Tabela 3.1 - Finalidades das barragens

Reservatórios	Finalidades Atual	Finalidades Neste estudo
Tapacurá	Controle de cheias Abastecimento	Controle de cheias Abastecimento Irrigação Piscicultura
Goitá	Controle de cheias	Controle de cheias Abastecimento Irrigação Piscicultura
Várzea do Una	Abastecimento	Abastecimento Irrigação Piscicultura

Climatologia:

As bacias em estudo, Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, apresentam clima úmido do tipo pseudo tropical na classificação climática de Köeppen (As') – notadamente no que se refere ao volume e à distribuição (anual e espacial) das precipitações. A temperatura média mensal do ar fica em torno de 25^o C.

Período chuvoso:

Conforme o Projeto Gestão Ambiental da Bacia do Rio Tapacurá, o período chuvoso da região é o mesmo da costa oriental do Nordeste – outono-inverno (março a julho) e tem lugar sob a ação dos ciclones da Frente Polar Atlântica (FPA) que, nessa época do ano, atingem com vigor máximo a costa nordestina, ao passo que o período mais seco corresponde aos meses de outubro, novembro e dezembro, nos anos considerados normais.

Volume das precipitações:

Varia de pouco mais de 1600 mm anuais na porção oriental da bacia para cerca de 850 mm anuais em sua porção ocidental. Tal redução se dá menos pela distância das bacias em relação ao litoral e mais pela altitude e disposição do relevo, onde a topografia funciona como anteparo para os alísios de sudeste que descarregam parte da umidade de que são portadores nas encostas a barlavento dos divisores de água situados ao sul das bacias e voltadas para fora destas.

Postos pluviométricos:

Os postos pluviométricos foram obtidos a partir do banco de dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco.

Os postos listados a seguir fazem parte das três bacias. Os períodos observados são os de 1968 a 1974 e 1985 a 1989 e o número a direita representa o código de identificação de cada posto. Os dados observados encontram-se nas Tabelas B.1 a B.12 no anexo B;

1. Russinha (3869308)
2. Pombos (3869324)
3. Serra Grande (3869431)
4. Vitória de Santo Antão (3869242)
5. Apoti (3869125)
6. Chã de Alegria (3869057)
7. Bela Rosa (3869078)
8. Nossa Senhora da Luz (3869181)

9. Bengalas (3869005)
10. Glória do Goitá (3869041)
11. Mussurepe (3859874)
12. Moreno (3869285)

Precipitação média:

Devido a falhas encontradas nos dados pluviométricos foi preciso fazer o preenchimento das mesmas. O método usado foi o da ponderação regional e seqüencialmente aplicou-se os métodos Aritmético e Thiessen para obter-se as precipitações médias nas bacias. As médias pluviométricas anuais obtidas são:

Bacia do Tapacurá:

Média Aritmética: 1142,7 mm

Média de Thiessen: 1150,6 mm

Bacia do Goitá:

Média Aritmética: 1085,1 mm

Média de Thiessen: 1107,6 mm

Bacia do Várzea do Una :

Média Aritmética: não foi possível aplicar este método devido a inexistência de postos pluviométricos dentro da bacia.

Média de Thiessen: 1269,3 mm

As Tabelas B.13 a B.15 (no anexo B), apresentam os valores médios mensais obtidos pelo método de Thiessen, dos períodos de 1968 a 1974 e 1985 a 1989 para cada bacia.

Postos fluviométricos:

Os dados dos postos fluviométricos foram obtidos do banco de dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Os postos escolhidos para se obter os dados de vazão estão inseridos dentro de cada bacia, são eles:

Bacia do Tapacurá:

Vitória de Santo Antão (39170000) – situado a montante da barragem

Bacia do Goitá:

Sítio Engenho (39155000) – situado a montante da barragem

Bacia do Várzea do Una :

Não existe nenhum posto fluviométrico a montante do reservatório Várzea do Una.

As Tabelas B.16 e B.17 (ver Anexo B) mostram os valores de vazões médias mensais observados, para as bacias do Tapacurá e Goitá respectivamente.

Posto Evaporimétrico:

A partir do Sistema de Informação de Recursos Hídricos de Pernambuco (SIRH-PE), foram obtidos os dados mostrados na Tabela B.18 (no Anexo B) de evaporação dos períodos de 1968 a 1974 e 1985 a 1987 do posto evaporimétrico Curado, situado a jusante das três barragens.

Relevo e Solos:

O Relevo da região em estudo é constituído por morros e cristas elaboradas em estruturas cristalinas do Núcleo Nordestino do Escudo Brasileiro.

Os tipos de solos encontrados nas três bacias são: os solos Podzólicos Vermelho Amarelo, Latosol Vermelho Amarelo, Bruno Não Cálcico e Brunizem Avermelhado.

Ocupação do solo atualmente:

A região da barragem do Tapacurá era ocupada primitivamente pela Mata Atlântica, sendo progressivamente devastada, e suas terras utilizadas no cultivo de cana-de-açúcar. A porção do rio que corta a cidade Vitória de Santo Antão apresenta suas margens desmatadas e ocupadas, com o lançamento de águas servidas e lixo urbano. O entorno do reservatório apresenta, na margem esquerda, manchas de vegetação remanescente de Mata Atlântica, e algumas áreas com fruteiras e cultivos de subsistência; e na direita, predominantemente canaviais. Próximo ao maciço da barragem foi identificado uma quantidade razoável de vegetação aquática (aguapé), que tende a surgir e proliferar-se em águas ricas em nutrientes.

Os rios Goitá e Várzea do Una e seus formadores estão inseridos em uma região ocupada principalmente com a cana-de-açúcar. Na bacia hidrográfica do Várzea do Una são ainda identificadas áreas ocupadas com outros cultivos e algumas manchas de mata e capoeirinha. No entorno do reservatório Várzea do Una não existe mais vegetação nativa, e sim o cultivo de fruteiras ocupando a faixa próxima à linha d'água, além de um reflorestamento com eucalipto na margem esquerda. Na parte mais estreita da barragem observa-se um pouco de vegetação aquática. Vale mencionar que próximo à margem direita, nas mediações do maciço da barragem, existe uma área escavada, com o solo sem vegetação.

Qualidade da água:

A qualidade da água dos reservatórios apresenta-se em geral da seguinte forma, segundo a COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO (COMPESA) e a COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH):

Barragem Tapacurá

A partir dos dados obtidos na campanha de amostragem de 1997-98, verifica-se na Estação VII, situada em frente ao sangradouro do reservatório da barragem do Tapacurá, que a qualidade da água apresenta-se de razoável para boa, considerando-se os parâmetros OD, DBO e Coliforme fecal.

As Tabelas 3.2 e 3.3 apresentam os resultados obtidos em 1997 e 1998.

Tabela 3.2 - Monitoramento da Qualidade da Água no Reservatório do Tapacurá, no ano de 1997

Parâmetros	Unid	Lim	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
		Clas-se II													
OD	mg/l	>5,0	7,6	-	4,8	-	5,5	5,2	-	4,4	-	-	-	-	5,5
DBO	mg/l	<5,0	2,4	-	2,0	-	2,0	-	-	6,9	-	-	-	-	3,3
Coli Fecal	NMP/100ml	1.000	700	-	200	-	5.000	200	200	200	-	300	800	200	1.167

Tabela 3.3 - Monitoramento da Qualidade da Água no Reservatório do Tapacurá, no ano de 1998

Parâmetros	Unid	Lim	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
		Clas-se II													
OD	mg/l	>5,0	-	-	6,8	6,4	4,8	6,4	8,4	8,2	6,8	-	-	-	6,8
DBO	mg/l	<5,0	19,4	-	5,6	8,0	3,2	3,2	4,8	2,9	4,4	-	-	-	6,4
Coli fecal	NMP/100ml	1.000	22.000	-	9.000	-	-	<200	<200	<200	800	-	-	-	5.400

Barragem Goitá

Não foi possível verificar a qualidade da água do reservatório Goitá, pois o mesmo não tem a finalidade de abastecimento.

Barragem Várzea do Una

A Tabela 3.4 apresenta os resultados da qualidade da água do reservatório Várzea do Una.

Tabela 3.4 - Monitoramento da Qualidade da Água no Reservatório Várzea do Una

Parâmetros	Unid	Lim	03/94	01/95	02/95	03/95	05/95	08/95	09/95	10/95	11/95	01/96	03/96	12/96	Méd
		Clas-se II													
OD	mg/l	>5,0	5,4	6,2	8,0	6,8	6,0	6,9	7,0	6,8	7,0	7,0	6,8	7,4	6,8
DBO	mg/l	<5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,5	-	-	48,5

Os coliformes fecais marcaram sua presença nas amostras, com concentrações superiores às permitidas para uso com abastecimento de água após tratamento convencional (classe a que se destina), nos meses 02 e 04/94 conforme Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Monitoramento de coliformes fecais no Reservatório Várzea do Una

Parâmetros	Unid	Lim Classe II	09/93	10/93	11/93	12/93	01/94	02/94	04/94
Coli fecal	NMP/ 100ml	1.000	743	31,5	27	500	50	1.600	1.600

Poluição:

Os impactos ambientais modificadores da qualidade dos mananciais de abastecimento da RMR, segundo PQA/PE (1997) se dão devido à:

Barragem Tapacurá:

1. Desmatamento das faixas de proteção dos mananciais
2. Contaminação por efluentes domésticos e industriais
3. Aporte de nutrientes com crescimento excessivo de fauna aquática

Barragem Várzea do Una:

1. Desmatamento das faixas de proteção dos mananciais
2. Aporte de nutrientes e pesticidas nas áreas cultivadas das faixas de proteção dos mananciais
3. Vegetação aquática da barragem
4. Área degradada pela extração mineral no entorno da barragem

Municípios das bacias:

As bacias estudadas abrangem os seguintes Municípios:

1. Chã Grande
2. Gravatá
3. Moreno
4. Pombos
5. São Lourenço da Mata

6. Vitória de Santo Antão (maior porte demográfico e funcional, ou seja, é o município que se caracteriza como pólo econômico microrregional e espacialmente abriga a maior porção da bacia do Tapacurá)
7. Chã de alegria
8. Glória do Goitá
9. Paudalho
10. Tracunhaém

Culturas plantadas nas bacias:

As culturas geralmente plantadas nas sub-bacias estão listadas a seguir:

Tapacurá: cana-de-açúcar, mandioca, tomate, milho, feijão, algodão herbáceo, banana, caju, manga, jaca e abacaxi.

Goitá: cana-de-açúcar, mandioca, milho, feijão, banana, caju, manga, jaca, mamão e coco.

Várzea do Una: cana-de-açúcar.

4 O MODELO DE OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO

4.1 Desenvolvimento do Modelo

Para simulação e otimização da operação dos reservatórios em paralelo, Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, utilizou-se o modelo ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program) de base mensal desenvolvido por Curi e Curi em 1999. Este programa já foi utilizado para otimização da operação do sistema hídrico Jucazinho-Carpina (Andrade, 2000).

O processo de otimização é resolvido numericamente através da aplicação de técnicas de programação não linear. As funções objetivo do modelo podem ser dadas em termos de um objetivo ou uma combinação linear dos seguintes objetivos:

- Maximização da receita líquida advinda da agricultura irrigada;
- Maximização da receita líquida advinda de piscicultura;
- Maximização da mão de obra empregada na agricultura irrigada;
- Maximização da mão de obra empregada na piscicultura.

O modelo garante o uso prioritário da água para abastecimento humano, e busca suprir os outros usos, irrigação, piscicultura e controle de cheias, não violando restrições mensais impostas para o seu funcionamento. No comportamento hidrológico do sistema são empregadas as mesmas técnicas usadas na simulação, que entram no programa sob forma de restrições, executando-se balanços mensais de massas entre afluências, efluências e variações de volumes armazenados para cada reservatório, sendo que a demanda para irrigação, traduzida pela necessidade hídrica suplementar para as culturas é avaliada pelo balanço hídrico mensal do solo, conforme as áreas de cultivo definidas pelo processo iterativo de otimização.

O modelo ORNAP foi desenvolvido na linguagem do software matemático MATLAB (High-Performance Numeric Computation and Visualization Software). MATLAB é uma abreviação para Matrix Laboratory. É um ambiente computacional técnico de alto desempenho em cálculo e visualização numérica. O MATLAB integra análise numérica, cálculo matricial, processamento de sinais, e gráficos em um ambiente de uso simples onde problemas e soluções são expressos da mesma forma como são escritos matematicamente: sem o uso da tradicional programação em determinadas linguagens.

4.2 Aspectos Matemáticos do Modelo

As variáveis envolvidas no ORNAP são elementos hidroclimáticos, hidroagrícolas, demandas, características físicas, parâmetros comerciais, entre outros. Para estes elementos, definem-se quatro pontos básicos de entrada de dados envolvendo os reservatórios, demandas de água para o abastecimento doméstico, calha do rio e perímetros, mostrados na Tabela 4.1.

O problema de otimização do sistema Tapacurá foi realizado para diversos cenários operacionais e hidroclimáticos e duas representações do sistema físico, onde se fixou ou flexibilizou as vazões mensais para parte do abastecimento da RMR. O sistema foi analisado para um período de 12 meses e apresentou 656 e 680 restrições para as representações com vazões fixas ou flexíveis, respectivamente. As funções objetivo especificadas, que permitem a aferição de desempenho do modelo, são sujeitas à restrições, que são representadas por equações lineares e não lineares e traduzem, mensalmente, as limitações físicas dos reservatórios, perímetros e equipamentos hidráulicos, limitações hídricas, legais, econômicas e sociais, que são próprias de sistemas de múltiplos usos.

Tabela 4.1 – Elementos de entrada para o ORNAP

<p>RESERVATÓRIOS</p> <p>Hidrometeorológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Vazão afluyente -Precipitação direta -Evaporação -Coeficiente de evaporação do tanque <p>Estruturais</p> <ul style="list-style-type: none"> -Relações cota x área x volume -Vertedores (equação de descarga: coef. de descarga, largura, cota da soleira, lâmina vertente máxima) -Descargas de fundo (equação de descarga: coef. descarga, área da seção, cota de jusante) -Tomadas de água (vazão máxima, cota mínima operacional) <p>Operacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> -Volumes máximos e mínimos de armazenamento -Volumes para controle de cheias -Volumes de sustentabilidade hídrica <p>PISCICULTURA</p> <ul style="list-style-type: none"> -Produtividade de pescado -Custo de alevinagem -Preço de venda -Produção por pescador <p>DEMANDAS DE ÁGUA</p> <ul style="list-style-type: none"> -Abastecimento público -Descarga ecológica -Outros usos identificados <p>CALHAS DE RIO/TERMINAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> -Capacidade máxima -Vazão de regularização 	<p>PERÍMETROS IRRIGADOS</p> <p>Culturas</p> <ul style="list-style-type: none"> -Definição das culturas -Plano cultural (safra e entressafra) -Requerimentos hídricos (ciclo fenológico, coeficiente de cultivo) -Produtividade -Custo de produção (mão de obra, energia, custo da água, outros insumos) -Requerimentos financeiros (inflação, outras taxas) -Preço de venda <p>Terrenos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aptidão agrícola -Área total disponível para plantio -Área máxima de plantio por cultura -Área mínima de plantio por cultura -Capacidade máxima da adução de água para o perímetro <p>Sistemas de irrigação</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tipo de sistema por cultura (gotejamento, sulco, aspersão, outros) -Eficiência do sistema de distribuição (canais, tubulações) por cultura -Eficiência da aplicação por cultura -Custo de manutenção -Custo de implantação -Vida útil do sistema -Taxa anual de amortização investimento <p>Dados meteorológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Precipitação na área irrigável -Precipitação efetiva -Evaporação/evapotranspiração -Coeficiente de evaporação
---	--

A seguir são mostradas, matematicamente, os conjuntos das equações do modelo para:

Agricultura irrigada

O objetivo é calcular a receita líquida, RL, gerada pela escolha apropriada da dimensão de áreas irrigadas para cada tipo de cultura. A RL é a diferença entre a renda bruta obtida com

a venda dos produtos agrícolas e os custos de produção anuais, o custo da água de irrigação e a atualização monetária. A renda bruta anual Rb_{jt} em R\$/ano/cultura, é dada por:

$$Rb_{jt} = \sum_{k=1}^{ni} Prod_{jt} * Prc_j * Ac_{jk} \quad (4.1)$$

onde:

- j – indica o tipo de cultura, $j=1, \dots, nc$;
- t – indica o ano, $t=1, \dots, na$;
- k – indica o perímetro irrigado, $k=1, \dots, ni$;
- nc – número de culturas;
- na – número de anos em estudo;
- ni – número de perímetros irrigados;
- $Prod_{jt}$ – produtividade da cultura j por unidade de área no ano t de irrigação;
- $Pr c_j$ – valor atualizado do preço de comercialização da cultura j e
- Ac_{jk} – área plantada com a cultura j no perímetro k.

O custo de produção anual Cp_{jt} em R\$/ano/cultura, referentes aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, é dado por:

$$Cp_{jt} = \sum_{k=1}^{ni} Cprod_{jt} * Ac_{jk}$$

(4.2)

onde:

- $Cprod_{jt}$ – valor atualizado do custo de produção por unidade de área da cultura j referentes à gastos relativos ao ano t.

O custo da água anual, Ca_{jt} em R\$/ano/cultura, aduzida para os perímetros é obtido por:

$$Ca_{jt} = \sum_{k=1}^{ni} \sum_{i=12*(t-1)+1}^{12*(t-1)+12*nm} Pra_k * Qirr_{jkt} * Ac_{jk} \quad (4.3)$$

onde:

- Pra_k – preço da água por unidade de volume, aduzida para o perímetro k;
- $Qirr_{jkt}$ – lâmina mensal de água para a irrigação da cultura j no mês t para o perímetro k.

A lâmina mensal de água para a irrigação da cultura j no mês t para o perímetro k é obtida por:

$$Q_{irr_{jkt}} = \frac{NI_{jkt}}{(1 - LR_{jkt}) * E_{irr_{jk}}} \quad (4.4)$$

onde:

- NI_{jkt} – necessidade de irrigação líquida da cultura j , no mês t , cultivada no perímetro k ;
 LR_{jkt} – necessidade de lixiviação dos sais que se acumulam no solo cultivado;
 $E_{irr_{jk}}$ – eficiência do sistema de irrigação.

A necessidade de irrigação líquida da cultura j , no mês t , cultivada no perímetro k , NI_{jkt} , pode ser determinada por (Gomes, 1999):

$$NI_{jkt} = Etp_{jkt} - Pce_{kt} - Gj_{kt} - W_{kt} \quad (4.5)$$

onde:

- Etp_{jkt} – taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura j no mês t e perímetro k .
 Pce_{kt} – taxa de precipitação efetiva no mês t em mm/mês que ocorre no perímetro k .
 Gj_{kt} – dotação de água à zona 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 . Considerado neste trabalho igual a zero;
 W_{kt} – 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 . Considerado neste trabalho igual a zero;

A taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura j no mês t e perímetro k é calculada por:

$$Etp_{jkt} = Kc_{jt} * Eto_{kt} \quad (4.6)$$

onde:

- Kc_{jt} – coeficiente de cultivo no mês t da cultura j que reflete a sua necessidade hídrica em função de sua fase de crescimento.
 Eto_{kt} – taxa de evapotranspiração de referência no mês t no perímetro k .

A taxa de evapotranspiração de referência é calculada por:

$$Eto_{kt} = K_{Tk} * Ev_{kt} \quad (4.7)$$

onde:

- t – indica o mês, $t=1, \dots, nm$;
- nm – número de meses em estudo;
- K_{Tk} – coeficiente do tanque evaporimétrico no perímetro k e
- Ev_{kt} – taxa de evaporação média mensal em mm/mês de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A, colocado na região do perímetro k.

Parte da precipitação que infiltra no solo e efetivamente permanece à disposição das raízes da planta, isto é, a precipitação efetiva no mês t no perímetro k, Pce_{kt} em mm/mês, na região a ser irrigada, é estimada para terrenos com declividade de 4 a 5%, conforme FAO (1988), por:

$$Pce_{kt} = 0,8 * Pc_{kt} - 25 \quad \text{se } Pc_{kt} \geq 75 \text{ mm} \quad (4.8)$$

ou

$$Pce_{kt} = 0,6 * Pc_{kt} - 10 \quad \text{se } Pc_{kt} < 75 \text{ mm} \quad (4.9)$$

onde: Pc_{kt} - Precipitação no perímetro k no mês t.

A quantidade de água a ser aduzida para cada tipo de cultura j dependerá:

- da eficiência do sistema de irrigação, $Eirr_{jk}$ e
- da necessidade de lixiviação dos sais que se acumulam no solo cultivado, obtida em função da fração de água mínima, LR_{jkt} , que deve percolar para lavar esses sais, que depende da qualidade da água de irrigação e da salinidade tolerada pela cultura j no perímetro k no mês t. Rhoades e Merrill, citados por Gomes (1999) propõe equações para se determinar LR_{jkt} para os casos de irrigação por inundação e por aspersão de baixa frequência, e para irrigações de alta frequência (gotejamento e microaspersão). Não se dispondo de dados sobre a condutividade elétrica da água e do extrato de solo saturado de cada perímetro que acarreta redução na produtividade das culturas, não foram avaliadas dotações para água de lixiviação.

A eficiência do sistema de irrigação, $Eirr_{jk}$ é calculado por:

$$Eirr_{jk} = Eapl_j * Esis_{jk} \quad (4.10)$$

ondé:

- $Eapl_j$ – eficiência da aplicação da irrigação por cultura;
 $Esis_{jk}$ – eficiência do sistema de distribuição de água para cada perímetro.

Portanto, a receita líquida total, RL em R\$, é dada por:

$$RL = \sum_{i=1}^{na} \prod_{l=1}^l (1 + d_l) \sum_{j=1}^{nc} \left[\prod_{m=1}^l (1 + dc_{jm}) * Rb_{jt} - Cp_{jt} - Ca_{jt} \right] \quad (4.11)$$

em que:

$\sum_{l=1}^l \prod (1 + d_l)$ = fator de atualização monetária referente a taxa d e (inflação) desvalorização da moeda no ano l ;

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

Os custos referentes aos gastos fixos e indiretos dos produtores (administração, taxas, etc.), não interferem no resultado do processo de otimização e não são levados em consideração na solução do problema. No entanto podem ser diluídos na formação do preço de produção das culturas.

Outros aspectos da agricultura irrigada estão relacionados com as restrições físicas e operacionais do sistema. Fazem parte das restrições físicas a quantidade de área a ser irrigada em cada perímetro, a capacidade de vazão para este perímetro e a não negatividade das variáveis. Nas restrições operacionais destacam-se os critérios agronômicos e de mercado.

A limitação imposta pela capacidade do canal ou adutora pela qual a água é aduzida até o perímetro irrigado é representada por:

$$\sum_{j=1}^{nc} Qirr_{jka} * Ac_{jk} \leq Qt \max_k \quad (4.12)$$

onde:

Qt_{max_k} – capacidade máxima mensal de vazão da adutora ou canal para o perímetro k .

As restrições quanto ao limite máximo mensal da área que pode ser plantada por perímetro em cada mês, são expressas por:

$$\sum_{j=1}^{nc} \alpha_{jkt} * Ac_{jk} \leq Ap_{max_{kt}} \quad (4.13)$$

em que:

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

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

$Ap_{max_{kt}}$ – limite máximo de área total que pode ser plantada por perímetro no mês t .

Com relação aos critérios agrônômicos e de mercado, o conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos de áreas plantadas com cada tipo de cultura por perímetro irrigado, e podem ser expressas por:

$$Ac_{min_{jk}} \leq Ac_{jk} \leq Ac_{max_{jk}} \quad (4.14)$$

onde:

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

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

Reservatórios e Seus Componentes

O balanço hídrico mensal de cada reservatório, baseado no princípio de conservação da massa e que determina a variação mensal do volume nele armazenado, é expresso pela seguinte equação:

$$Vr_{l,t+1} = Vr_t + \sum_{\alpha(l)} Q\alpha_{\alpha(l),t} - \sum_{f(l)} Qf_{f(l),t} - \sum_{t(l)} Qt_{t(l),t} + (Pr_t - Evr_t) * Ar_t - \sum_{v(l)} Qv_{v(l),t} \quad (4.15)$$

onde:

$\alpha(l)$ – índice que representa a α -ésima vazão afluente ao reservatório l no mês t ;

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

$t(l)$ – índice que representa a t -ésima tomada de água do reservatório l ;

$v(l)$ – índice que representa o v -ésimo vertedouro do reservatório l ;

Vr_t – volume do reservatório l no mês t ;

$Vr_{l,t+1}$	– volume do reservatório l no mês $t+1$;
$Qa_{\alpha(l),t}$	– α -ézima vazão afluyente ao reservatório l no mês t ;
$Qf_{f(l),t}$	– f -ézima vazão de descarga de fundo do reservatório l no mês t ;
$Qt_{t(l),t}$	– t -ézima vazão de tomada d'água do reservatório l no mês t ;
Pr_h	– precipitação direta no reservatório l no mês t ;
Evr_h	– taxa de evaporação sobre o reservatório l no mês t ;
Ar_h	– área média do espelho d'água do reservatório l no mês t e
$Qv_{v(t),t}$	– e -ézimo volume vertido do reservatório l no mês t .

A atualização das áreas da superfície líquida, das cotas do nível da água e dos volumes mensais do reservatório são feitas mensalmente, pois dependem das vazões afluentes e da alocação mensal de água do reservatório para os diversos usos. Para isso se faz uso das relações cota x área x volume para cada reservatório (dadas pelas Equações 5.3 a 5.5, 5.6 a 5.8 e 5.9 a 5.11 apresentadas no Capítulo 5, para Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, respectivamente).

As atualizações mensais das cotas, áreas e volumes também estabelecem limites para os cálculos dos volumes defluentes pelas tomadas d'água, descargas de fundo e extravasores. A vazão liberada pelas tomadas d'água está limitada a sua capacidade máxima e à cota da tomada d'água, o que pode ser descrito, matematicamente, por:

$$0 \leq Qt_{t(l),t} \leq Qt_{\max t(l)} \quad (4.16)$$

$$Qt_{t(l),t} \geq 0 \text{ se } Hr_h \geq Ht_{t(l)} \quad (4.17)$$

onde:

$Qt_{\max t(l)}$	– vazão máxima de adução pela t -ézima tomada d'água do reservatório l ;
$Qt_{t(l)}$	– vazão de adução pela t -ézima tomada d'água do reservatório l ;
Hr_h	– cota do nível d'água do reservatório l no mês t ;
$Ht_{t(l)}$	– cota da t -ézima tomada d'água no reservatório l ;

A vazão liberada por descarregadores de fundo está limitada pela sua capacidade máxima no mês t , sendo estimada pela equação abaixo, referida em Quintela (1981):

$$0 \leq Qf_{f(l),t} \leq Cf_{f(l)} * Af_{f(l)} * (2 * g * (Hr_h - Hf_{f(l)}))^{0,5} \quad (4.18)$$

onde:

$Cf_{f(l)}$	– coeficiente de vazão do f -ézimo descarregador de fundo do reservatório l ;
$Qf_{f(l),t}$	– vazão máxima que pode ser aduzida pelo f -ézimo descarregador de fundo do reservatório l no mês t ;
$Af_{f(l)}$	– área da seção transversal do f -ézimo descarregador de fundo do reservatório l ;

- Hf_{Rl} – cota de jusante da geratriz inferior do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l .
 g – aceleração da gravidade

As vazões extravasadas dos vertedouros são estimadas pela equação a seguir, referida em Quintela (1981):

$$Q_{v_{v(l)t}} = C_{v_{v(l)}} * B_{v_{v(l)}} * (Hr_{lt} - Hvert_{v(l)})^{1.5} \quad (4.19)$$

onde:

- $C_{v_{v(l)}}$ – coeficiente de descarga dependente da forma do v-ézimo vertedor do reservatório l ;
 $B_{v_{v(l)}}$ – largura de base do v-ézimo vertedouro do reservatório l e
 $Hvert_{v(l)}$ – cota da soleira do v-ézimo vertedouro do reservatório l .

As vazões vertidas serão calculadas se, e somente se, a seguinte condição for satisfeita:

$$Hvert_{v(l)} \leq Hr_{lt} \leq Hvmax_{v(l)} \quad (4.20)$$

onde:

- $Hvmax_{v(l)}$ – cota do nível d'água do reservatório l que gera a lâmina vertente máxima projetada para o v-ézimo vertedouro.

As restrições de ordem física podem ser impostas ao problema como, por exemplo:

$$Vr_{morto(l)} \leq Vr_{lt} \leq Cpmax_{(l)} \quad (4.21)$$

onde:

- $Vr_{morto(l)}$ – volume morto do reservatório e
 $Cpmax_{(l)}$ – capacidade máxima do reservatório l .

Restrições por critérios operacionais podem ser impostas ao problema, como:

$$Vrmin_{lt} \leq Vr_{lt} \leq Vrmax_{lt} \quad (4.22)$$

onde:

- $Vrmax_{lt}$ – volume máximo admitido para o reservatório l no mês t , e
 $Vrmin_{lt}$ – volume mínimo admitido para o reservatório l no mês t .

Outros Componentes do Sistema

As calhas dos rios também fazem parte do sistema hídrico, para o ORNAP. As vazões das calhas podem estar limitadas por valores inferiores, indicando necessidades de requerimentos de regularizações e de vazões ecológicas para saneamento do rio, ou superiores, para o controle de cheias, e podem ser descritas matematicamente por:

$$Ql_{\min t} \leq Ql_t \leq Ql_{\max t} \quad (4.23)$$

onde:

- l – índice que indica a calha (trecho) de rio;
- $Ql_{\min t}$ – vazão mínima na l -ésima calha de rio no mês t ,
- Ql_t – vazão na l -ésima calha do rio no mês t , e
- $Ql_{\max t}$ – vazão máxima na l -ésima calha de rio no mês t .

O balanço em cada nó do sistema é dado por:

$$\sum_i Qentra_{in,t} = \sum_j Qsai_{jn,t} \quad (4.24)$$

onde:

- $Qentra_{in,t}$ – é a i -ésima vazão de entrada no nó n , no mês t , e
- $Qsai_{jn,t}$ – é a j -ésima vazão de saída do nó n , no mês t .

Piscicultura

A receita líquida (RI) oriunda de atividades piscícolas no reservatório é dada por:

$$RI = (Prmp_l * Pdp_l - Cal) * (\min_t Ar_t) \quad (4.25)$$

onde:

- $Prmp_l$ – preço médio do pescado na região do reservatório l ;
- Pdp_l – produtividade média de 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 l .

Mão de obra com a irrigação

O número de trabalhadores requeridos para a agricultura irrigada por dia é calculado por:

$$MO = na * \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nc} Tc_j * Ac_{j(k)} \quad (4.26)$$

onde:

MO	– Mão de obra necessária para a agricultura irrigada por cultura por ano;
na	– número de anos;
ni	– número de perímetros;
nc	– número de culturas;
Tc _j	– trabalho requerido por colheita da cultura j;
Ac _{j(k)}	– área plantada com a cultura j no perímetro k;

4.3 Análise de Convergência da Otimização

O *otimiz* é o programa principal responsável pela otimização via MATLAB do modelo ORNAP. Este programa apoia-se em informações de seis arquivos, num trabalho iterativo, sendo eles:

- o arquivo *dados*, contendo valores para as variáveis operacionais do sistema;
- o *balhid*, com a função balanço hídrico mensal dos reservatórios;
- o *cotvol*, que opera entradas de volumes mensais e sai com as cotas dos níveis d'água mensais dos reservatórios;
- o *espcot*, que opera entradas de cotas de níveis d'água mensais e gera áreas de espelhos d'água mensais para os reservatórios;
- o *irrig*, responsável pelas avaliações agronômicas e econômicas da irrigação, a nível mensal;
- o *penal*, com as funções de penalidade aplicáveis à minimização da função objetivo, observadas as restrições impostas.

Os arquivos *printarq* e *printarqi* operam a impressão dos resultados da otimização, seja em forma de solução final ou como solução imediatamente anterior, respectivamente,

completado, ou não, o número de iterações de minimização programadas para a execução do algoritmo.

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 na função objetivo (fo), dado por: $\text{erro}_{fo} = |(f_{o_t} - f_{o_{t-1}}) / f_{o_t}|$;
- o erro relativo na função de penalidade (fp), dado por: $\text{erro}_{fp} = |(f_{p_t} - f_{p_{t-1}}) / f_{p_t}|$ e
- o erro relativo na função mista (fm), dado por: $\text{erro}_{fm} = |(f_{p_t} - f_{o_t}) / f_{o_t}|$,

que devem respeitar um nível de tolerância (tol) especificado, sendo adotado neste trabalho uma tolerância de valor igual ou menor a 0,0001 (10^{-4}). O programa ainda fornece resultados para análise da convergência de restrições, dentro da tolerância requerida, descrevendo o tipo de restrição violada, ou não, suas quantidades mensais e valores totais, seja em vazões, volumes, níveis e áreas.

4.4 Configurações do Sistema Hídrico Para o ORNAP

O sistema hídrico para o ORNAP foi desenvolvido para duas representações deste sistema:

- Representação 1: As vazões mensais de Tapacurá e Várzea do Una para a estação de tratamento são variáveis de decisão, ou seja, existe uma maior flexibilidade para o programa.
- Representação 2: As vazões mensais de Tapacurá e Várzea do Una para a estação de tratamento são demandas fixas, que representa o funcionamento atual do sistema Tapacurá. Esta situação será usada apenas para comparação dos resultados em relação a representação 1.

As configurações destas representações do sistema estão apresentadas nas Figura 4.1 e 4.2, onde estão indicados o posicionamento dos reservatórios e perímetros de irrigação, as variáveis que identificam as entradas e saídas de água, e os pontos de conexão (nós) entre os reservatórios e os demais elementos, seja a montante ou a jusante, demonstrando a complexidade do sistema como um todo, o qual é formado por diversos sub-sistemas, interdependentes.

- Representação 2: As vazões mensais de Tapacurá e Várzea do Una para a estação de tratamento são demandas fixas, que representa o funcionamento atual do sistema Tapacurá. Esta situação será usada apenas para comparação dos resultados em relação a representação 1.

As configurações destas representações do sistema estão apresentadas nas Figura 4.1 e 4.2, onde estão indicados o posicionamento dos reservatórios e perímetros de irrigação, as variáveis que identificam as entradas e saídas de água, e os pontos de conexão (nós) entre os reservatórios e os demais elementos, seja a montante ou a jusante, demonstrando a complexidade do sistema como um todo, o qual é formado por diversos sub-sistemas, interdependentes.

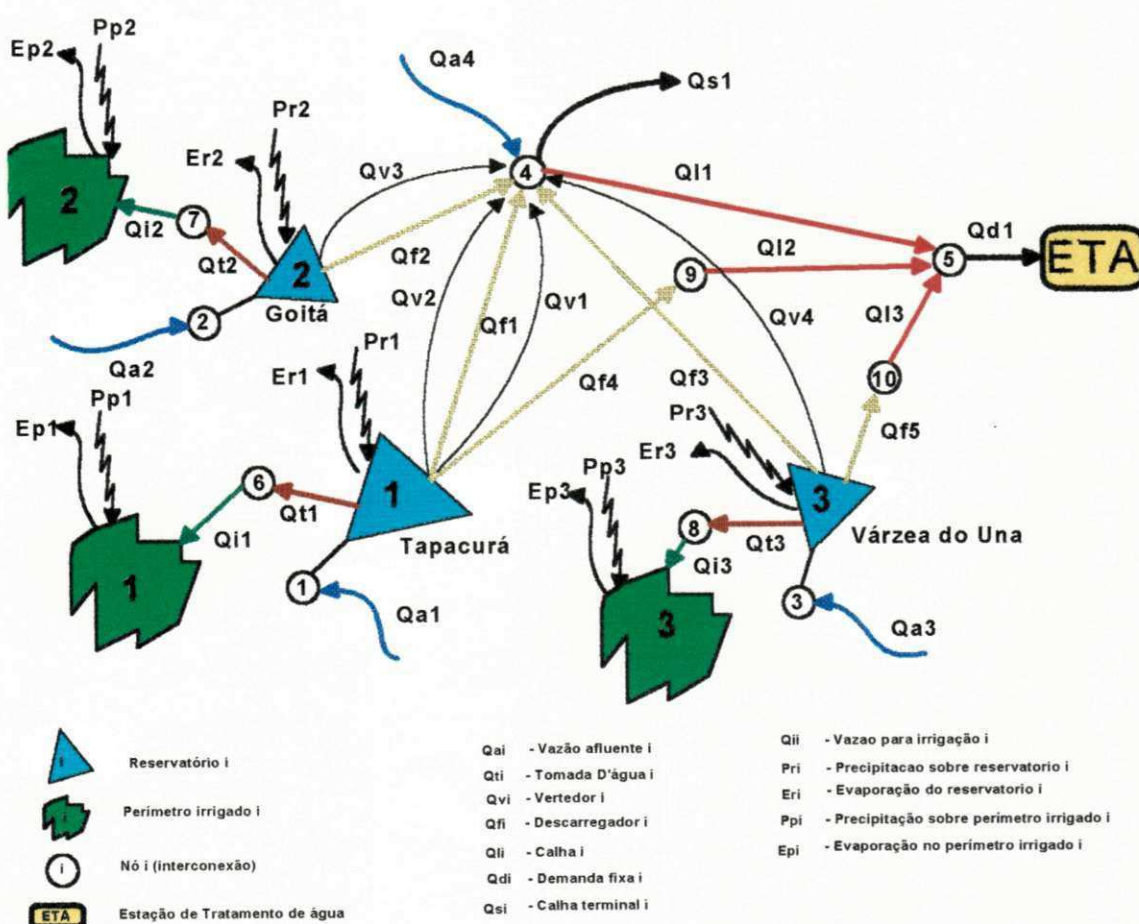


Figura 4.1 –Esquema do sistema hídrico para a representação 1.

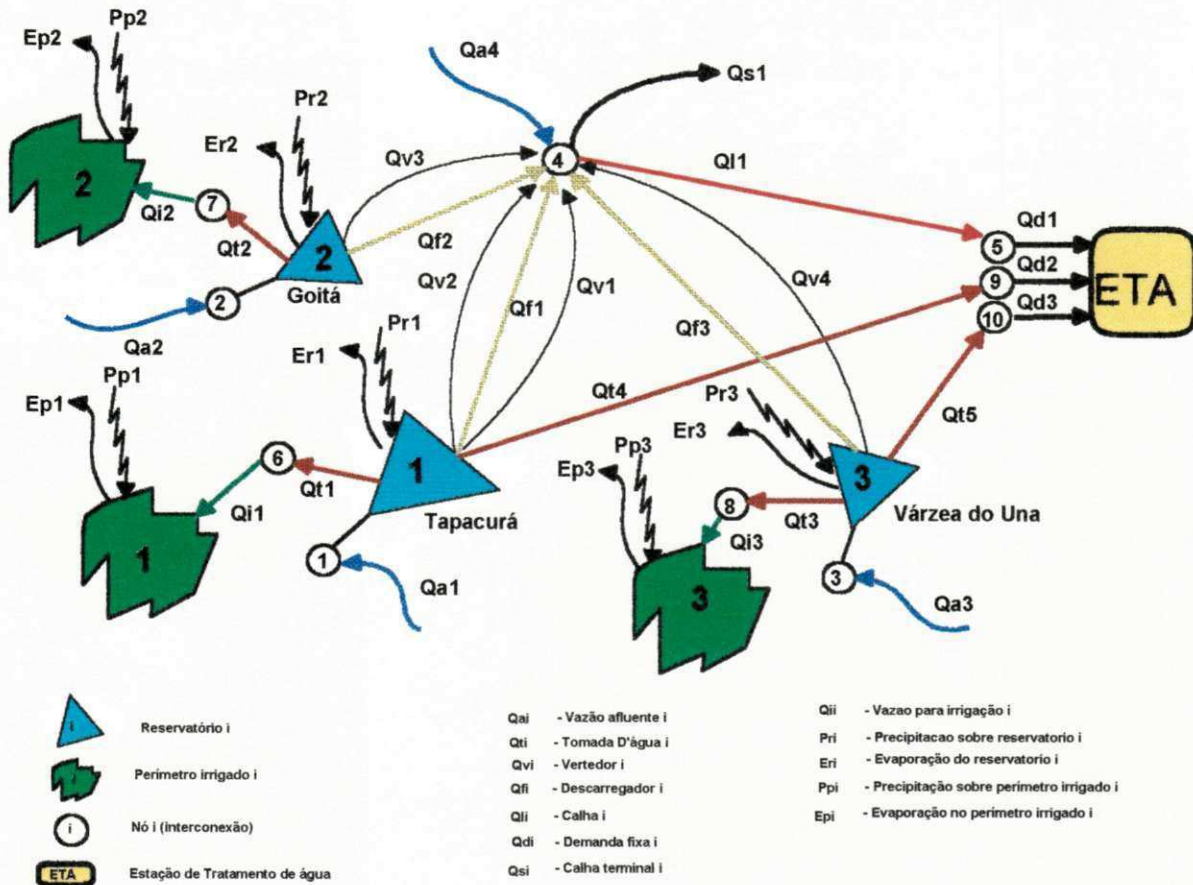


Figura 4.2 –Esquema do sistema hídrico para a representação 2.

4.5 Fluxograma do ORNAP

A Figura 4.3 descreve o funcionamento do modelo em forma de um fluxograma geral. As saídas do modelo determinam valores mensais para volumes, cotas e áreas de espelho d'água, vazões mensais de afluxos, de descargas e de sangria, por reservatório; vazões mensais nas tomadas d'água e nas calhas do rio; vazões mensais para irrigação por perímetro, áreas irrigadas e mão de obra alocadas por cultura e por perímetro; receita líquida anual auferida por cultura em cada perímetro; áreas mínimas de espelho d'água, produção de pescado, mão de obra e receita líquida anual advinda da piscicultura, para cada reservatório. O programa ainda gera resultados para análise da convergência do processo iterativo e de restrições, dentro da

restrições violadas, ou não, suas quantidades mensais e valores totais, seja em vazões, volumes, níveis e áreas.

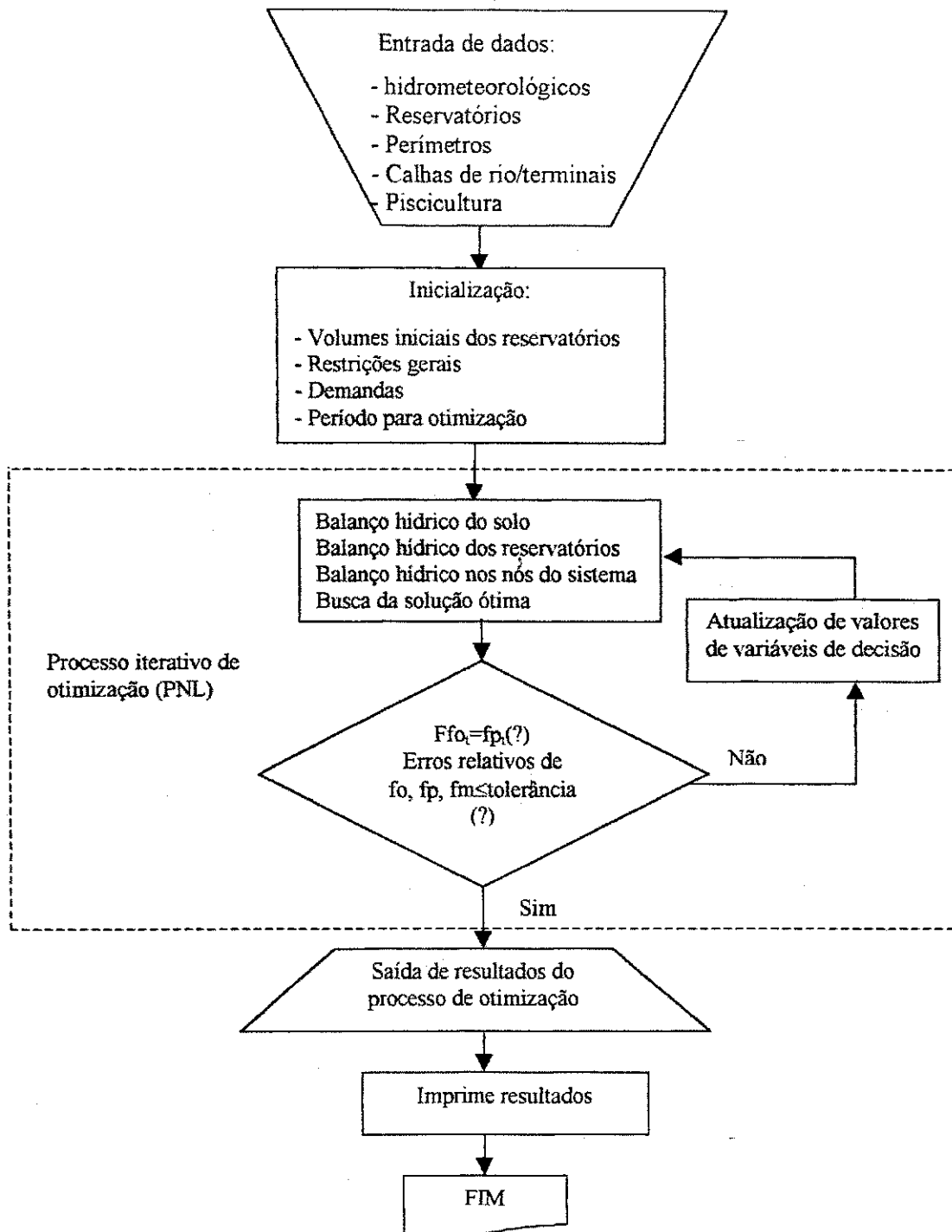


Figura 4.3 – Fluxograma para o ORNAP.

5 DADOS DE ENTRADA DO MODELO

Os dados utilizados, para as representações 1 e 2 do sistema descritas no capítulo anterior, sua obtenção e métodos de tratamento empregados em alguns deles são apresentados neste capítulo.

Precipitação

Os 12 postos selecionados foram divididos para cada sub-bacia a partir da análise de zonas hidrologicamente homogêneas. Devido a falhas encontradas nas séries dos dados pluviométricos foi preciso fazer o preenchimento das mesmas. O método usado foi o método da ponderação regional, adaptado em planilha eletrônica. Para se verificar a homogeneidade desses dados aplicou-se o método de Dupla Massa, o qual mostrou a boa consistência dos dados utilizados. Os postos de referência e os respectivos postos vizinhos considerados na análise de homogeneização das sub-bacias estão mostrados na Tabela B.19 no anexo B.

A precipitação sobre os reservatórios, Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, estão referidos a valores homogeneizados de precipitações médias mensais obtidas pelo Método de Thiessen e mostrados nas Tabelas B.13 a B.15 no Anexo B.

Vazão

Devido a ausência de um posto fluviométrico que representasse a vazão afluente ao reservatório Várzea do Una foram geradas vazões mensais a partir do modelo chuva-vazão

SMAP para os anos de 1968 a 1974 e 1985 a 1989. Os parâmetros foram calibrados dentro de um intervalo de valores que melhor representassem a média das características da bacia do Tapacurá, por ser considerada não homogênea. Esses parâmetros foram usados para gerar as vazões na bacia do Várzea do Una, já que esta bacia apresenta algumas características físicas semelhantes a da bacia calibrada. A estimativa das vazões afluentes ao reservatório Tapacurá foi obtida por interpolação a partir das vazões mensais observadas do posto Vitória de Santo Antão, considerando os períodos de 1968 a 1974 e 1985 a 1989. A formulação da interpolação é expressa por:

$$Q_{totalt} = Q_{est,t} + Q_{jus,t} \quad (5.1)$$

e

$$Q_{jus,t} = \frac{\sum_i P_{jus,i} * A_{jus,i}}{\sum_j P_{est,j} * A_{est,j}} * Q_{est,t} \quad (5.2)$$

onde:

Q_{totalt}	– vazão afluente para o reservatório (Tapacurá ou Goitá) no mês t;
$Q_{est,t}$	– vazão afluente à estação fluviométrica no mês t;
$Q_{jus,t}$	– vazão afluente a jusante da estação fluviométrica no mês t;
$P_{jus,i}$	– dados do posto de precipitação i na bacia depois da estação fluviométrica no mês t;
A_{jus}	– área de drenagem relativa ao posto de precipitação i a jusante da estação fluviométrica (até no reservatório);
$P_{est,j}$	– dados do posto de precipitação j na bacia até a estação fluviométrica no mês t;
A_{est}	– área de drenagem até a estação fluviométrica relativa ao posto de precipitação j.

A estimativa das vazões afluentes ao reservatório Tapacurá, por interpolação, se fez necessário devido a grande distância do posto fluviométrico (situado a montante) em relação ao reservatório. Nas Tabelas B.20 e B.21 do anexo B estão mostrados os valores das vazões afluentes mensais para os reservatórios Tapacurá e Várzea do Una.

Como o posto fluviométrico Sítio Engenho está localizado muito próximo da barragem Goitá, as vazões afluentes foram as mesmas observadas nos períodos de 1968 a 1974 e 1985 a 1989, mostrados na Tabela B.17 no Anexo B.

Considera-se, neste trabalho, a vazão mensal afluente da barragem Carpina para os anos médios e chuvosos igual a zero. Para o ano seco considera-se 1,0 m³/s.

A partir das figuras 4.1 e 4.2 do Capítulo 4 pode-se observar que os reservatórios estão conectados, via pontos de conexão denominados nós do sistema, a outros elementos, a montante ou a jusante deles. Os nós representados pelos números 1, 2 e 3 referem-se as vazões afluentes aos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una respectivamente. O nó 4 refere-se, também, a vazão afluente ao rio Capibaribe da barragem Carpina.

Evaporação

Para os reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una o volume evaporado, a cada mês, é calculado no processo de otimização com base na área do espelho d'água obtida a partir das curvas cota x área, representada pelas Equações 5.4, 5.7 e 5.10 (Figuras A.4, A.6 e A.8 do Anexo A), e dos valores das lâminas corrigidas de evaporação média mensal da estação meteorológica de Curado, como se apresenta nas Tabelas 5.1. A correção dos valores das lâminas de evaporação média mensal foi feita conforme dados da umidade relativa média do ar de 73,5% e da velocidade média do vento de 267 km/dia, o que permite, segundo Gomes (1999), adotar para coeficiente do tanque K_T o valor de 0,80.

Tabela 5.1 – Lâmina corrigida (mm) de evaporação média mensal da estação Curado

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evap	176	147	144	122	118	114	114	130	140	165	170	173

Abastecimento urbano

A demanda de abastecimento a ser atendida pelos reservatórios Tapacurá e Várzea do Una foi considerada constante ao longo do tempo, correspondendo à vazão de 4,0 m³/s. Essa demanda diz respeito ao abastecimento de Camaragibe, São Lourenço da Mata e parte do Recife.

Irrigação

As necessidades de água para irrigação em geral são sazonais, com um máximo durante os meses de verão, e pouca ou nenhuma demanda no inverno que, no Nordeste brasileiro, é um período de chuvas. As necessidades de água não variam muito de ano para

ano, embora os de baixa precipitação, em geral, provoquem uma maior demanda do que nos de elevada precipitação. A não ser que a área irrigada aumente ou ocorra a fase de implementação de culturas perenes, a média anual da demanda permanecerá aproximadamente constante (Linsley, 1978).

A irrigação é basicamente uma operação agrícola, suprimindo a necessidade de água da planta. Para o agricultor, é um componente de sucesso no cultivo em clima árido, no mesmo nível que a aplicação de fertilizantes, controle das ervas daninhas ou pragas, tratamentos culturais e drenagem. Não funciona em separado, mas de forma integrada com outras operações agrícolas, de forma benéfica ou prejudicial, dependendo da habilidade de quem a executa. Pode, assim, funcionar em harmonia com o sistema de drenagem, permitindo um solo úmido, mas arejado para as raízes, ou sobrecarregar tal sistema e, possivelmente, destruí-lo. Da mesma maneira, a água corretamente aplicada torna os nutrientes prontamente disponíveis à planta; em excesso, porém, lava-os do solo.

Neste trabalho foram considerados três perímetros irrigados, cada um captando água de cada reservatório e com uma área total mensal a ser plantada de 4000 ha. A demanda da irrigação, variável mensalmente ao longo do ano, gerada pela necessidade hídrica suplementar para as culturas, é avaliada através do balanço hídrico mensal do solo, de acordo com os critérios já considerados no Capítulo 4, respeitadas as dimensões dos perímetros de irrigação, características dos solos e respectivas aptidões agrícolas. Considerou-se a capacidade de adução de água (Qimax) para o primeiro perímetro (Tapacurá) igual a 3,0 m³/s, para o segundo perímetro (Goitá) igual a 1,5 m³/s e para o terceiro perímetro (Várzea do Una) igual a 0,9 m³/s. O preço da água adotado é de R\$ 0,05 por metro cúbico de água aduzida para os três perímetros. Esse valor foi estimado pela média das tarifas de água bruta (irrigação) cobradas pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, do Estado do Ceará, em vigor desde 30 de dezembro de 1999 citados em Andrade (2000). Para a evapotranspiração de referência Eto, em mm/mês, os valores adotados para os perímetros Tapacurá, Goitá e Várzea do Una foram os mesmos da Tabela 5.1.

Devido ao tipo de solo e ao costume da região, as culturas escolhidas foram: banana, tomate, melancia, feijão, milho, algodão e cana-de-açúcar. Doorenbos e Kassam (1994) define bem as características básicas para o plantio de cada cultura selecionada neste estudo.

- 1) Banana → A banana (**Musa sp.**) é uma das mais importantes frutas tropicais. As bananeiras podem ser cultivadas numa faixa ampla de solos, desde que sejam férteis e bem drenados. Os melhores solos são os francos, profundos e bem drenados, com alta capacidade de retenção de água e alto teor de humos. A temperatura média de aproximadamente 27°C é considerada ótima para seu crescimento. Nos plantios de banana para comercialização são comumente utilizados os sistemas de aspersão com aplicações leves em intervalos frequentes.
- 2) Tomate → O tomate é uma cultura de crescimento rápido com ciclo fenológico de 90 a 150 dias. A temperatura média diária ótima para seu crescimento é de 18 a 25°C. Pode ser produzido numa ampla variedade de solos, porém os leves, francos, bem drenados e com pH de 5 a 7 são os preferíveis. O sistema comumente praticado é o da irrigação por sulcos.
- 3) Melancia → Esta cultura prefere clima quente e seco com temperaturas médias diárias de 22 a 30°C. As temperaturas máxima e mínima para seu crescimento são em torno de 35 e 18°C, respectivamente. A temperatura do solo ótima para o crescimento radicular é na faixa de 20 a 35°C. A cultura prefere solos de textura franco arenosa, com pH de 5,8 a 7,2. O método mais comumente utilizado é o de sulcos. Em condições onde as necessidades hídricas da cultura são elevadas e os solos são de textura franca, tem-se aplicado com êxito a irrigação por gotejamento, com redução na demanda global de água.
- 4) Feijão → O feijão comum (**Phaseolus vulgaris**) é conhecido com diferentes nomes (alubia, feijão ou judia francesa, alubia de rinon, feijão verde, judia trepadeira). O feijão comum desenvolve-se bem em zonas com precipitação médias, porém seu cultivo não é apropriado para zonas tropicais úmidas. As temperaturas médias diárias ótimas oscilam entre 15 e 20°C. A temperatura média mínima diária para seu crescimento é de 10°C e a máxima de 27°C. A germinação necessita de uma temperatura no solo de 15°C ou mais, levando aproximadamente 12 dias para germinar a 18°C e cerca de 7 dias a 25°C. O método mais comumente utilizado para irrigar essa cultura é o de aspersão.

- 5) Milho → O milho (*Zea mays*) procede originalmente da região Andina da América Central. A cultura é produzida em climas que variam desde a zona temperada até a tropical durante o período em que as temperaturas médias diárias são superiores a 15°C e livre de geadas. A planta desenvolve-se bem na maioria dos solos, menos nos muito argilosos, densos e pesados, e nos muito arenosos. O solo deve ser, preferencialmente, bem arejado e drenado, pois a cultura é susceptível ao encharcamento. O sistema comumente praticado é o da irrigação por aspersão.

- 6) Algodão → O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é cultivado para a produção de fibra e semente. A duração do período total de crescimento é de aproximadamente 150 a 180 dias. A germinação é ótima nas temperaturas de 18 a 30°C. Para o crescimento vegetativo inicial, a temperatura deve exceder 20°C, sendo 30°C a desejável. Para a formação apropriada de botões florais e floração, a temperatura diurna deve ser superior a 20°C e a noturna superior a 12°C, porém não devem exceder 40 e 27°C, respectivamente. Temperaturas entre 27 e 32°C são ótimas para o desenvolvimento e manutenção das maçãs, porém, acima de 38°C, os rendimentos são reduzidos. O algodão é cultivado numa ampla faixa de solos, porém, os de textura média e pesada, profundos e com características boas de retenção de água são os preferidos. O algodoeiro é cultivado sob grande variedade de sistemas de irrigação, dos quais, o de sulcos é o sistema superficial mais usado. Em regiões onde existe grande demanda de água e os recursos hídricos são limitados, cada vez mais se utilizam os métodos de irrigação por aspersão e gotejamento a fim de economizar a água e limitar o fluxo de retorno, que apresenta qualidade inferior.

- 7) Cana-de-açúcar → A temperatura ótima para a brotação (germinação) das gemas da cana cortada é de 32 a 38°C. O crescimento ótimo é obtido com temperaturas médias diárias entre 22 e 30°C. A temperatura mínima para o crescimento vigoroso é de aproximadamente 20°C. Entretanto, para a maturação, são desejáveis temperaturas relativamente baixas, na faixa de 20 a 10°C, visto que isto tem influência notória na redução da taxa de crescimento vegetativo e enriquecimento da sacarose na cana. A cana-de-açúcar não necessita de um tipo especial de solo. Os melhores são aqueles com mais de 1 m de profundidade, embora seja possível ocorrer um enraizamento profundo de até 5 m. A irrigação por sulcos é o método mais comumente utilizado, sendo

especialmente efetivo na fase inicial do plantio. A tendência atual é no sentido de utilizar a irrigação por aspersão e por gotejamento.

Para o cálculo da evapotranspiração potencial Etp, em mm/mês, das culturas selecionadas para o estudo, foram adotados coeficientes de cultivo Kc segundo o ciclo fenológico de cada uma delas, conforme está mostrado na Tabela 5.2. A estimativa da precipitação efetiva mensal Pce (Equações 4.8 e 4.9 do Capítulo 4) para o perímetro 1 (Tapacurá), perímetro 2 (Goitá) e perímetro 3 (Várzea do Una), tomou como base, respectivamente, valores homogêneos de precipitação mensal dos postos pluviométricos de Vitória de Santo Antão, Chã de Alegria e Nossa Senhora da Luz, apresentados nas Tabelas B22, B23 e B24, apresentadas no Anexo B.

Tabela 5.2 – Coeficiente de cultivo das culturas adotadas nos perímetros

Culturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Banana	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Tomate	0,00	0,45	0,75	1,15	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Melancia entressafra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	1,00	0,75	0,00	0,00
Feijão safra	0,00	0,70	1,10	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feijão entressafra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	1,10	0,90	0,00	0,00
Milho	0,00	0,40	0,80	1,15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Algodão entressafra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,75	1,15	0,75	0,00
Cana de açúcar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte (coeficientes de cultivo): Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento (Gomes, 1999)

Os dados dos sistemas de irrigação aplicados as culturas estão apresentados na Tabelas 5.3 a seguir:

Tabela 5.3 – Dados das culturas e dos sistemas de irrigação

Culturas	Prod	Prc	Cprod	Hdc	Ctrab	Esis	Eapl	Cman	Pirr	Vutil	Pam	Cbomb
Banana	40000	0,38	1260	188	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0
Tomate	50000	0,57	3744	367	0,0	90	40	0,0	1000	1	0	0,0
Melancia entressafra	25000	0,26	1055	115	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0
Feijão safra	1800	0,66	656	61	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0
Feijão entressafra	1800	0,92	656	61	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0
Milho	8000	0,24	596	105	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0
Algodão entressafra	3000	0,78	982	103	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0
Cana de açúcar	17150	0,02	813,51	125	0,0	90	65	0,0	3000	15	8	0,0

onde:

- Prod –Produtividade anual da cultura em kg/ha/cultura pela conta cultural do Banco do Nordeste (1997);
- Prc –Preço médio unitário da cultura em R\$/kg/cultura de acordo com a CEASA (2000);
- Cprod –Custo médio de produção anual da cultura em R\$/ha/cultura (mão de obra, energia, insumos, etc) pela conta cultural do Banco do Nordeste (1997);
- Hdc –Trabalho requerido médio por cultura em cada ano (homens/ano/cultura/ha) pela conta cultural do Banco do Nordeste (1997);
- Ctrab –Custo atual do trabalho para cada tipo de cultura em R\$/homemdia/cultura;
- Esis –Valor percentual da eficiência do sistema de distribuição (canais e tubulações) para irrigação por cultura de acordo com Gomes (1999);
- Eapl –Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por cultura de acordo com Gomes (1999);
- Cman –Custo anual de manutenção do sistema de irrigação por hectare (R\$/ano/ha);
- Pirr –Custo do investimento de implantação do sistema em R\$/ha de acordo com a conta cultural do Banco do Nordeste (1997);
- Vutil –Vida útil do sistema de irrigação em anos;
- Pam –Taxa anual de amortização do investimento em %/ano;
- Cbomb –Custo anual de bombeamento por hectare (R\$/ano). -

As áreas máximas e mínimas adotadas para plantio de cada cultura por perímetro estão mostradas na Tabela 5.4.

Vazão ecológica

A regularização de vazões para jusante é considerada como um impacto positivo, que permite o controle de vazões através da operação da tomada d'água/descarga de fundo, favorecendo a limpeza periódica do reservatório, através de evacuações das camadas mais inferiores da água acumulada, e a manutenção de uma descarga mínima de saneamento que manterá o rio vivo a jusante. Essa vazão mínima a ser regularizada, chamada neste trabalho de *vazão ecológica* ou vazão da calha terminal assume o valor de $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$, de acordo com os estudos do DNOCS. A vazão ecológica de $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ foi adotada para os meses de estiagem, ou seja, de setembro a fevereiro. A vazão mensal máxima que pode ser descarregada nesta calha é de $150 \text{ m}^3/\text{s}$.

Piscicultura

Os progressos realizados nestes últimos anos no controle de produção de peixes aclimatados e a relativa disponibilidade de alevinos de baixo custo em vários centros e estações de piscicultura, fazem com que a piscicultura constitua um dos mais importantes aproveitamentos de reservatório de múltiplos usos. Algumas das vantagens da piscicultura são:

- a) A possibilidade de ser praticada em áreas impróprias para agricultura;
- b) Não interferir em muitos outros usos da água, já que tem um caráter pouco consuntivo, possibilitando um melhor aproveitamento hídrico de grandes e pequenos reservatórios.
- c) Não precisar de nenhuma fonte de energia;
- d) No caso da água do reservatório estar salinizado, é um dos poucos usos tradicionais que possibilitam retorno econômico;
- e) Em termos alimentares, deve-se ressaltar o grande valor do peixe de água doce. 1 kg de carne de peixe tem um teor em proteína duas vezes superior ao de 1 kg de carne de boi ou porco.
- f) Funcionamento no período de estiagem;
- g) Utilização em regiões com escassez crônica de alimentos e em locais de agricultura frágil. Peritos internacionais começam a encará-la como uma das principais soluções do problema de carência protéica. A criação intensiva da Tilápia, por exemplo,

teve bastante sucesso devido a sua grande capacidade de proliferação, suscitando a criação de um organismo internacional - a *Tilapia Food Organization* em convênio com a FAO, que difunde o peixe em mais de 100 países.

A região Semi-árida do Nordeste Brasileiro apresenta ótimas condições de luz e temperatura, elementos estes fundamentais para a piscicultura. Aliado a estes dois fatores exige-se também, para o sucesso da atividade piscícola, valores limites de alguns elementos químicos no ambiente aquático, baixa turbidez da água e teores mínimos de salinidade.

A piscicultura extensiva foi a adotada neste estudo. Caracteriza-se pela promoção de uma modificação mínima do ambiente natural. O fundo do viveiro é irregular e praticamente inexistente controle sobre o fluxo d'água, espécie cultivada, número de peixes ou biomassa colhida. Trata-se da forma mais comum nos grandes açudes públicos.

As atividades piscícolas nos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, estão avaliadas neste trabalho, observados os critérios do Capítulo 4, como se fossem desenvolvidas a nível extensivo, em que são promovidas modificações mínimas no ambiente aquático, forma mais comum praticada nos grandes açudes públicos. Conforme Oliveira (1998), que coletou informações do DNOCS, para a prática da piscicultura extensiva em reservatórios podem ser considerados:

- custo de alevinagem (Cal) = R\$ 3,00 / ha / ano;
- produtividade média de pescado (Pdp) = 120 kg / ha / ano;
- preço médio de venda do pescado = R\$ 1,20 /kg;
- despesa média anual por pescador = 1.500 kg / pescador / ano

Dados dos reservatórios

Os dados dos reservatórios adotados no modelo de otimização, tanto estruturais quanto operacionais, dizem respeito às relações cota x área x volume; volumes de armazenamento, máximos e mínimos, permitidos; características hidráulicas das tomadas d'água, descargas de fundo e vertedouros, descargas mínimas e máximas permitidas. Na seqüência, são apresentados os dados considerados a respeito dos reservatórios.

As 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 mensais do reservatório variam de mês a mês. Para atualizá-las, mensalmente, o modelo requer que se

estabeleçam as relações matemáticas para cota, área e volume da bacia hidráulica. Tais relações foram obtidas com o software *Ajuste de Curvas*, versão 1999, desenvolvido pelo Professor Wilton Pereira da Silva, do Departamento de Física da UFPB – Campus II. Foram analisadas, a partir dos dados originais de cota x área x volume, as funções matemáticas pré-definidas no *Ajuste* que melhor se adequavam a esses dados, mediante verificação pelo teste do qui - quadrado. Pela obtenção do menor valor de qui - quadrado encontrado e visualização da correspondente curva ajustada, foram definidas e usadas no modelo **ORNAP** as seguintes funções matemáticas:

- **Reservatório Tapacurá**

Relações cota, área, volume

i) Cota do nível d'água a partir do volume do reservatório:

$$H_{rt} = a * \left[\left(\frac{V_{rt}}{b} \right)^c \right] * EXP\left(\frac{V_{rt}}{b} \right) \quad (5.3)$$

onde:

H_{rt}	– cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
V_{rt}	– volume (m ³) do reservatório no mês t;
a	– coeficiente de valor 0,10895429385E+03;
b	– coeficiente de valor 0,16169605138E+10;
c	– coeficiente de valor 0,39356393124E-10.

ii) Área da bacia hidráulica a partir da cota do nível d'água:

$$A_{rt} = a * EXP(b * EXP(c * H_{rt})) \quad (5.4)$$

onde:

A_{rt}	– área da bacia hidráulica (m ²) do reservatório no mês t;
H_{rt}	– cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
a	– coeficiente de valor 0,18912346205E+08;
b	– coeficiente de valor -0,28448130744E+04;
c	– coeficiente de valor -0,80957354017E-01.

iii) Volume do reservatório a partir da cota do espelho d'água:

$$Vr_t = a * EXP \left[\left(\frac{(\ln Hr_t - b)^2}{c} \right) \right] \quad (5.5)$$

onde:

- Vr_t – volume (m^3) do reservatório no mês t;
- Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
- a** – coeficiente de valor $0,33958262411E+09$;
- b** – coeficiente de valor $0,48753680843E+01$;
- c** – coeficiente de valor $-0,44033171950E-01$.

• Reservatório Goitá

Relações cota, área, volume

i) Cota do nível d'água a partir do volume do reservatório:

$$Hr_t = a * EXP \left[\left(\frac{(\ln vr_t - b)^2}{c} \right) \right] \quad (5.6)$$

onde:

- Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
- Vr_t – volume (m^3) do reservatório no mês t;
- a** – coeficiente de valor $0,48349032957E+02$;
- b** – coeficiente de valor $0,11831779340E+02$;
- c** – coeficiente de valor $0,96820903776E+02$.

ii) Área da bacia hidráulica a partir da cota do nível d'água:

$$Ar_t = a + b * Hr_t + c * Hr_t^2 \quad (5.7)$$

onde:

- Ar_t – área da bacia hidráulica (m^2) do reservatório no mês t;
- Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
- a** – coeficiente de valor $0,21625E+08$;
- b** – coeficiente de valor $-0,94592E+06$;
- c** – coeficiente de valor $0,10350E+05$.

iii) Volume do reservatório a partir da cota do espelho d'água:

$$Vr_t = a * EXP\left(\frac{b}{Hr_t}\right) + c \quad (5.8)$$

onde:

- Vr_t – volume (m³) do reservatório no mês t;
- Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
- a** – coeficiente de valor 0,16089955500E+12;
- b** – coeficiente de valor -0,55791456707E+03;
- c** – coeficiente de valor -0,14683086463E+07.

• Reservatório Várzea do Una

Relações cota, área, volume

i) Cota do nível d'água a partir do volume do reservatório:

$$Hr_t = a * Vr_t (b * Vr_t^c) \quad (5.9)$$

onde:

- Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
- Vr_t – volume (m³) do reservatório no mês t;
- a** – coeficiente de valor 0,78361138609E+02;
- b** – coeficiente de valor 0,34594399315E-03;
- c** – coeficiente de valor 0,24106666912E+00.

ii) Área da bacia hidráulica a partir da cota do nível d'água:

$$Ar_t = a * b^{Hr_t} + c \quad (5.10)$$

onde:

- Ar_t – área da bacia hidráulica (m²) do reservatório no mês t;
- Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
- a** – coeficiente de valor 0,66972238439E+03;
- b** – coeficiente de valor 0,10780867859E+01;
- c** – coeficiente de valor -0,29037109307E+06.

iii) Volume do reservatório a partir da cota do espelho d'água:

$$Vr_t = \frac{1}{(a + b * Hr_t^2)^c} \quad (5.11)$$

onde:

- Vr_t – volume (m³) do reservatório no mês t;
 Hr_t – cota (m) do nível d'água do reservatório no mês t;
a – coeficiente de valor -0,51370438156E+03;
b – coeficiente de valor 0,84262677852E-01;
c – coeficiente de valor -0,27173118570E+01.

As curvas cota x área e cota x volume para o reservatório Tapacurá, Goitá e Várzea do Una estão mostradas nas Figuras A.4, A.5, A.6, A.7, A.8 e A.9, no AnexoA.

Volumes máximos e mínimos de armazenamento

A Tabela 5.6 indica os volumes máximos e mínimos operacionais, a nível mensal para os reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una.

Tabela 5.6 - Volumes máximos e mínimos para os reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una

Reservatórios	Tapacurá	Goitá	Várzea do Una
Volumes			
Vrmax (Volume máximo – m ³)	98700000	53000000	11600000
Vrmin (Volume mínimo – m ³)	2200000	810000	671000

A sustentabilidade hídrica dos reservatórios é garantida quando o volume final do último mês de simulação for maior ou igual ao volume inicial do primeiro mês da simulação. Conforme PQA/PE (1997) foi considerado 27.000.000 m³ de volume de espera de cheia, para o reservatório Goitá, assumido de ser preservado em julho, mês de maior precipitação.

Para o cálculo de vazões mensais aduzidas pelas tomadas d'água para abastecimento e irrigação foram considerados os dados indicados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Dados das tomadas d'água para os três reservatórios

Dados	Reservatórios	Tapacurá	Goitá	Várzea do Una
Htmin (m) – cota mínima para abastecimento		84	55	84,5
Htmin (m) – cota mínima para irrigação		84	55	84,5
Qtmax (m ³ /s) – vazão máxima permitida para abastecimento		3,0	-	0,9
Qtmax (m ³ /s) – vazão máxima permitida para irrigação		3,0	1,5	0,9

O cálculo das vazões mensais liberadas para jusante através do descarregador de regularização é determinado pela Equação 4.18 descritas no Capítulo 4 ($0 \leq Q_{f(t)} \leq C_{f(t)} * A_{f(t)} * (2 * g * (H_{r_t} - H_{f(t)}))^{0,5}$). A Tabela 5.8 referem-se aos dados dos descarregadores fornecidos pela COMPESA.

Tabela 5.8 - Dados dos descarregadores de fundo para os três reservatórios

Dados	Reservatórios	Tapacurá	Goitá	Várzea do Una
Cf – coeficiente de vazão da descarga de fundo		0,61	0,61	0,70
Af – área da seção transversal de um Descarregador de fundo (m ²)		1,56 (diam=1mx2)	9,82 (diam=2,5mx2)	0,78 (diam=1m)
Hf – cota do nível d'água a jusante da descarga de fundo (m)		80,0	51,0	83,0

A vazão liberada dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para a ETA foi calculada também pela Equação 4.18 apresentada no Capítulo 4. A Tabela 5.9 apresenta os dados para o cálculo da vazão que chega até a ETA.

Tabela 5.9 - Dados dos descarregadores para ETA

Reservatórios	Tapacurá	Várzea do Una
Dados		
Cf – coeficiente de vazão da descarga de fundo	0,61	0,70
Af – área da seção transversal de um Descarregador de fundo (m ²)	3,14 4(diam=1m)	0,28 (diam=0,6m)
Hf – cota do nível d'água a jusante da descarga de fundo (m)	84,0	84,5

As vazões mensais extravasadas pelos vertedores, tanto o principal quanto os auxiliares, são determinadas pela Equação 4.19 do Capítulo 4 ($Q_{v(1)r} = C_{v(1)} * B_{v(1)} * (H_{r1} - H_{vert_{v(1)}})^{1,5}$). A Tabela 5.10 refere-se aos dados fornecidos pela COMPESA dos vertedores.

Tabela 5.10 - Dados dos vertedores para os três reservatórios

Reservatórios	Tapacurá	Goitá	Várzea do Una
Dados			
Cv – coeficiente de descarga do Vertedor	1,95 (Central) 1,95 (Lateral)	1,95	1,95
Bv – largura do vertedor (m)	6,0 (Central) 12,0 (2 Laterais)	55,0	50,0
Hvert – cota de crista do vertedor (m)	103,0 (Central) 105,0 (2 Laterais)	70,0	104,0
Hvmax – lâmina d'água vertente máxima no extravasor (m)	7,0 (Central) 5,0 (2 Laterais)	6,75	2,0

Considera-se para os anos médios e chuvosos as vazões mensais mínimas de regularização (Qlmin) da calha 1 iguais a 0,5 m³/s e as vazões mensais máximas (Qlmax) iguais a 1,5 m³/s, pois a capacidade das tubulações nesta calha é de apenas 1,5 m³/s. Para a calha 2 considera-se vazões mensais mínimas de regularização iguais a 0,5 m³/s e as vazões mensais máximas iguais a 3,0 m³/s. Já para a calha 3 as vazões mensais mínimas de regularização são iguais a zero e as vazões mensais máximas iguais a 0,9 m³/s. Para o ano seco as vazões mensais mínimas de regularização são iguais a zero e as máximas iguais a 3,0 m³/s, para atingir esta capacidade as bombas teriam que ser duplicadas.

6 CENÁRIOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 Generalidades

O modelo ORNAP opera a nível mensal, com funções objetivo de maximização da receita líquida anual advinda da agricultura irrigada (RL) e da piscicultura extensiva nos reservatórios (RI) e de maximização da mão de obra com a irrigação. Fez-se obrigatório o atendimento prioritário da demanda de $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para o abastecimento urbano, sendo exigida a preservação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios. Os resultados analisados são baseados em séries de valores médios mensais de pluviometria e de vazões médias mensais afluentes aos reservatórios. Para permitir uma boa avaliação do comportamento do sistema foram criados cenários de dados médios e de situações extremas de seca e chuva, além de variações nos volumes iniciais de cada reservatório (A distinção entre os cenários pode ser melhor visualizada com o auxílio da Tabela 6.7). A simulação do manejo dos perímetros foi simplificada com a escolha de sete tipos de culturas compatíveis com a tradição agrícola da região, conforme descrição feita no Capítulo 5.

6.2 Situações Climáticas

Com base nos dados de precipitação dos anos de 1968 a 1974 e 1985 a 1989 foram caracterizados para os testes três períodos de situações climáticas distintas:

- **Situação climática média:** representada pelas precipitações médias mensais dos períodos de 1968 a 1974 e 1985 a 1989.

- **Situação climática seca:** representada pelas precipitações médias mensais dos anos 1968 e 1971. A definição desses anos considerados secos foram obtidos utilizando a média e o desvio padrão da série inteira. Ou seja, considerou-se o ano seco quando a sua precipitação x era menor que a média da amostra X menos o desvio padrão dividido por dois ($x < (X - S/2)$).
- **Situação climática chuvosa:** representada pelas precipitações médias mensais dos anos 1985 e 1986. A definição desses anos considerados chuvosos foram obtidos utilizando a média e o desvio padrão da série inteira. Ou seja, considerou-se o ano chuvoso quando a sua precipitação x era maior que a média da amostra X mais o desvio padrão dividido por dois ($x \geq (X + S/2)$).

Utilizou-se a metade do desvio padrão, pois se considerasse todo o desvio padrão o intervalo de anos com precipitação média seria bem maior, incluindo a maioria dos anos neste intervalo.

As Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam os valores das precipitações médias mensais que caracterizam as situações climáticas média, seca e chuvosa para os reservatórios de Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, respectivamente.

Os dados de precipitação de cada perímetro irrigado obtidos pelas Tabelas 6.22, 6.23 e 6.24, usando também a média e o desvio padrão, estão apresentados nas Tabelas 6.4, 6.5 e 6.6, para os postos de Vitória de Santo Antão (perímetro Tapacurá), Chã de Alegria (perímetro Goitá) e Nossa Senhora da Luz (perímetro Várzea do Una), respectivamente.

Tabela 6.1 – Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o reservatório Tapacurá

Situações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média (1968/1974 e 1985/1989)	43,9	50,5	132,3	163,8	142,8	183,1	213,7	78,4	47,1	22,9	31,7	40,4
Seca (1968 e 1971)	29,3	22,9	90,8	75,6	134,7	89,1	127,6	51,8	39,7	39,4	17,9	25,6
Chuvosa (1985 e 1986)	40,1	117,7	230,8	225,1	165,9	220,6	271,5	111,0	51,7	23,0	65,8	49,5

Tabela 6.2 – Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o reservatório Goitá

Situações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média (1968/1974 e 1985/1989)	49,4	53,1	128,2	155,2	148,7	169,5	195,6	81,9	44,9	19,8	26,8	34,4
Seca (1968 e 1971)	60,1	24,8	61,5	60,7	133,1	78,9	119,2	50,2	45,3	28,9	17,6	25,0
Chuvosa (1985 e 1986)	32,8	123,4	242,4	205,9	142,8	217,6	234,3	94,5	49,3	22,4	63,2	67,5

Tabela 6.3 – Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o reservatório Várzea do Una

Situações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média (1968/1974 e 1985/1989)	63,1	57,3	129,9	180,1	158,9	195,9	220,6	97,9	59,7	32,6	32,3	41,1
Seca (1968 e 1971)	114,6	30,2	120,3	105,1	182,5	89,5	142,6	67,4	47,5	49,1	22,9	25,6
Chuvosa (1985 e 1986)	40,6	92,6	195,9	232,7	126,5	268,7	243,3	103,2	70,0	18,2	79,8	78,0

Tabela 6.4 – Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o perímetro Tapacurá

Situações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média (1968/1974 e 1985/1989)	42,1	57,2	149,4	162,7	150,4	201,5	220,8	86,7	55,1	32,7	42,3	47,5
Seca (1968 e 1972)	28,9	11,3	78,7	96,9	120,8	107,7	103,4	60,7	49,5	23,1	11,4	14,6
Chuvosa (1986 e 1989)	45,4	78,1	185,1	269,4	221,7	309,4	383,4	118,9	76,3	59,9	121,0	133,0

Tabela 6.5 – Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o perímetro Goitá

Situações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média (1968/1974 e 1985/1989)	51,5	63,6	138,9	200,6	221,5	240,4	230,6	93,3	50,2	19,8	36,2	27,8
Seca (1968 e 1971)	59,6	107,9	108,5	129,0	91,6	97,0	147,2	36,0	7,8	13,2	0,0	0,0
Chuvosa (1972 e 1986)	73,7	91,7	203,9	327,6	418,7	336,3	214,8	123,6	50,6	18,1	67,8	68,1

Tabela 6.6 – Precipitação mensal em mm que caracteriza a situação climática média, seca e chuvosa para o perímetro Várzea do Una

Situações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média (1968/1974 e 1985/1989)	79,5	71,7	178,7	262,3	227,5	278,9	305,7	135,5	83,0	45,3	43,3	53,3
Seca (1968 e 1971)	122,6	57,2	111,2	123,1	221,4	87,8	206,6	73,2	47,5	66,0	9,2	28,5
Chuvosa (1986 e 1989)	66,3	124,2	292,7	280,3	230,9	449,2	398,9	158,3	137,6	33,7	107,3	112,7

6.3 Situações Operacionais dos Reservatórios

De acordo com Andrade (2000), os resultados da otimização da operação dos reservatórios podem ser fortemente influenciados por valores de variáveis de estado, como os volumes armazenados no início do período de otimização, e por valores de restrições operacionais como volumes máximos e mínimos permitidos. A partir de tal afirmação convencionou-se começar o processo de otimização do sistema hídrico no mês de julho, instante em que os reservatórios recebem maior quantidade de água. Fixou-se, para Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, os volumes iniciais em 80% do volume máximo permitido (98.700.000 m³), 50% do volume máximo permitido (53.000.000 m³) e 80% do volume máximo permitido (11.568.000 m³), respectivamente. Em relação a sustentabilidade hídrica dos reservatórios, definiu-se que ao final do último mês da otimização, o volume dos reservatórios fosse igual ou maior ao volume inicial adotado no primeiro mês desse processo. Para o reservatório Goitá foi considerado volume de espera no mês de julho de 27.000.000 m³.

6.4 Descrição dos Cenários

Aqui serão descritos de forma mais detalhada cada um dos 13 cenários, os cenários C1 a C5 testam diferentes valores para os volumes iniciais dos reservatórios, uma vez que os resultados são fortemente influenciados por mudanças nesta variável, tendo ainda o critério de sustentabilidade hídrica que é vinculado aos valores desta

variável, como também são testadas situações com exclusão do reservatório Várzea do Una.

Cenário 1 (C1)

O objetivo deste cenário é obter um cenário climático padrão, caracterizado como ano médio, que servirá como base de comparação entre os cenários de situação climática média: C2, C3, C4, C5, C6 e C7. Neste cenário os volumes iniciais para os reservatórios, no mês de julho, possuem os maiores volumes ativos. Os outros dados para os reservatórios, perímetros irrigados e piscicultura são apresentados no Capítulo 5.

Cenário 2 (C2)

Com este cenário pretende-se verificar o desempenho do sistema quando, ao invés do volume inicial do reservatório Tapacurá ser de 80% da capacidade máxima permitida, emprega-se volume inicial de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do primeiro cenário.

Cenário 3 (C3)

Com este cenário pretende-se verificar o desempenho do sistema quando, ao invés do volume inicial do reservatório Várzea do Una ser de 80% da capacidade máxima permitida, emprega-se volume inicial de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do primeiro cenário.

Cenário 4 (C4)

Neste cenário o sistema é testado para a condição de exclusão do reservatório Várzea do Una do processo, pois, como foi visto no Capítulo 3, cogita-se separar o mesmo do sistema Tapacurá. Os outros dados são iguais aos do primeiro cenário.

Cenário 5 (C5)

Neste cenário o sistema é testado, também, para a condição de exclusão do reservatório Várzea do Una do processo e o volume inicial do reservatório Tapacurá ser de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do primeiro cenário.

Cenário 6 (C6)

Os dados de entrada são os mesmos do cenário 1 (C1), sendo que agora o sistema é testado para a função objetivo 2 (FO2), a qual visa a maximização da geração de empregos a nível local com a irrigação. Este cenário foi criado para verificar se o atendimento de uma demanda social, como uma maior oportunidade de geração de emprego, iria reduzir substancialmente a receita líquida auferida.

Cenário 7 (C7)

O sistema agora é testado para a representação 2 do sistema, desenvolvida de acordo com o funcionamento atual do sistema, descrita no Capítulo 4. Os dados de entrada diferem dos dados do cenário 1 (C1) na consideração de demandas fixas de $2,5\text{m}^3/\text{s}$ para Tapacurá, $1,0\text{m}^3/\text{s}$ para captações de Tiúma e Castelo, e $0,5\text{m}^3/\text{s}$ para Várzea do Una para ETA. As quais somando resulta numa vazão de demanda de $4,0\text{m}^3/\text{s}$. Este cenário nos possibilita verificar quão próximo ou afastado de um ótimo está trabalhando o sistema atual.

Cenário 8 (C8)

O objetivo deste cenário é obter um cenário climático padrão, caracterizado como ano seco, que servirá como base de comparação entre os cenários de situação climática seca: C9 e C10, os quais são testados com diferentes valores da variável volume inicial dos reservatórios. Os dados dos reservatórios, perímetros irrigados e piscicultura são os mesmos adotados no cenário 1 (C1), com exceção da vazão para abastecimento urbano que está reduzida para $3,0\text{m}^3/\text{s}$, uma vez que para estes cenários

climáticos secos, não foi possível o modelo atender a uma demanda de abastecimento urbano de 4,0 m³/s sem violar várias restrições.

Cenário 9 (C9)

Com este cenário pretende-se verificar o desempenho do sistema quando, ao invés do volume inicial do reservatório Várzea do Una ser de 80% da capacidade máxima permitida, emprega-se um volume inicial de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do cenário 8 (C8).

Cenário 10 (C10)

Com este cenário pretende-se verificar o desempenho do sistema quando, ao invés do volume inicial do reservatório Tapacurá ser de 80% da capacidade máxima permitida, emprega-se volume inicial de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do cenário 8 (C8).

Cenário 11 (C11)

O objetivo deste cenário é obter um cenário climático padrão, caracterizado como ano chuvoso, que servirá como base de comparação entre os cenários de situação climática chuvosa: C12 e C13, os quais são testados para diferentes valores do volume inicial do reservatório. Os dados dos reservatórios, perímetros irrigados e piscicultura são os mesmos adotados no cenário 1 (C1).

Cenário 12 (C12)

Com este cenário pretende-se verificar o desempenho do sistema quando, ao invés do volume inicial do reservatório Várzea do Una ser de 80% da capacidade máxima permitida, emprega-se volume inicial de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do cenário 11 (C11).

Cenário 13 (C13)

Com este cenário pretende-se verificar o desempenho do sistema quando, ao invés do volume inicial do reservatório Tapacurá ser de 80% da capacidade máxima permitida, emprega-se volume inicial de 50% da capacidade máxima permitida. Os outros dados são iguais aos do cenário 11 (C11).

Tabela 6.7 – Distinção básica entre os cenários adotados para simulação/otimização do sistema

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
Representações	Rep1	Rep1	Rep1	Rep1	Rep1	Rep1	Rep2	Rep1	Rep1	Rep1	Rep1	Rep1	Rep1
Situações Climáticas	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Seca	Seca	Seca	Chuvosa	Chuvosa	Chuvosa
Funções objetivo	FO1	FO1	FO1	FO1	FO1	FO2	FO1	FO1	FO1	FO1	FO1	FO1	FO1
Volumes iniciais dos reservatórios	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 50% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 50% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 50% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}	Tapacurá 50% da C _{pmax}	Tapacurá 80% da C _{pmax}
	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}	Goitá 50% da C _{pmax}
	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 50% da C _{pmax}	Sem Várzea do Una	Sem Várzea do Una	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 50% da C _{pmax}	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 80% da C _{pmax}	Várzea do Una 50% da C _{pmax}

C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12 e C13=Cenários

Rep1=Representação 1, desenvolvida para o sistema hipotético, com uma maior variedade de uso da água;

Rep2=Representação 2, desenvolvida para o sistema real;

C_{pmax}=Capacidade máxima permitida no reservatório

6.5 Análise de Resultados

Os resultados da otimização estão analisados para todos os cenários dos anos médio, seco e chuvoso, seguindo uma seqüência de: comportamento dos reservatórios, agricultura irrigada e piscicultura. Em todos os cenários não houve violação de restrições mensais impostas no modelo.

ANO MÉDIO:

- **Comportamento dos reservatórios**

O comportamento das variações mensais de volumes armazenados nos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para os cenários de ano médio, estão apresentados nas Figuras 6.1a, 6.1b, 6.1c, 6.1d, 6.1e, 6.1f e 6.1g e na Tabela 6.8 a seguir.

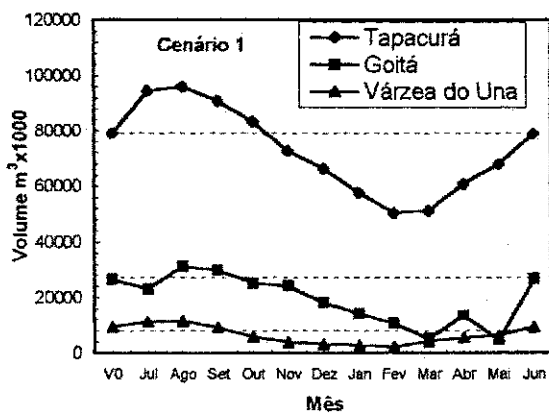


Figura 6.1a – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 1.

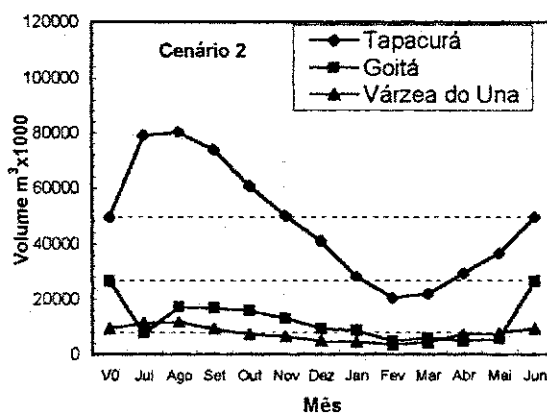


Figura 6.1b – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 2.

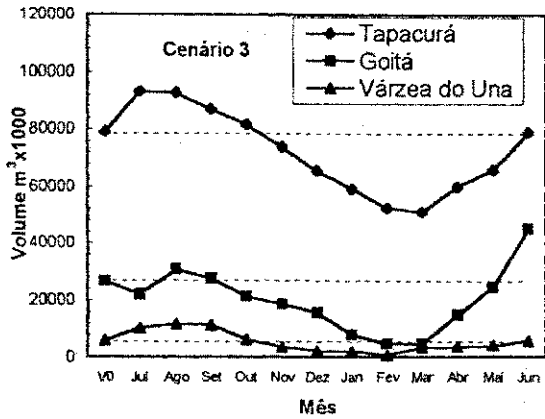


Figura 6.1c – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 3.

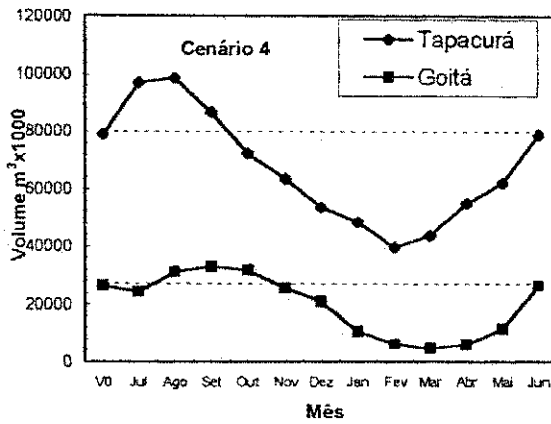


Figura 6.1d – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 4.

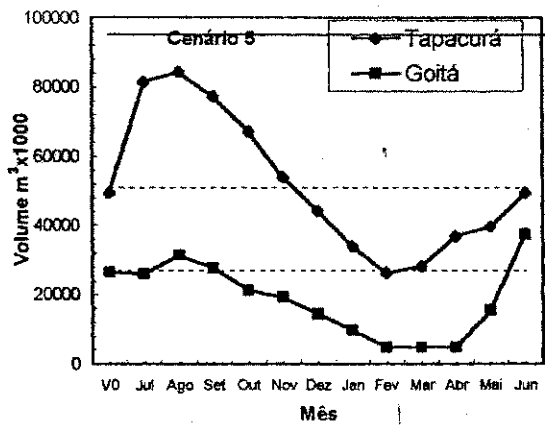


Figura 6.1e – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 5.

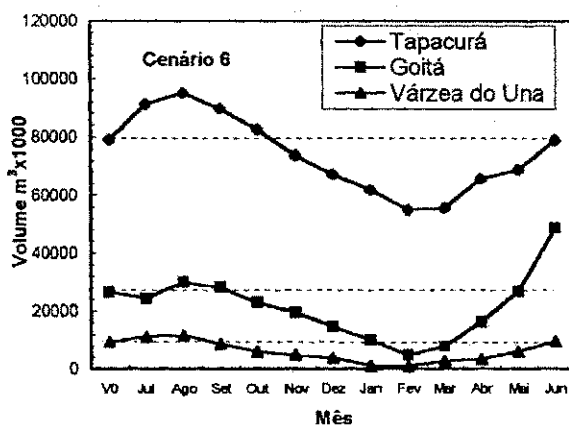


Figura 6.1f – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 6.

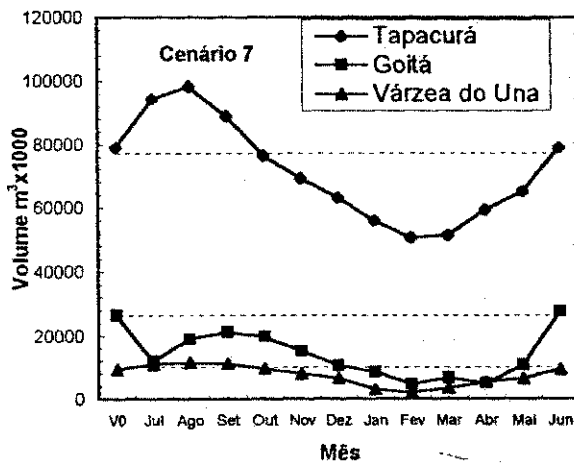


Figura 6.1g – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 7.

Tabela 6.8 - Volumes mensais (em m³ x 1000) dos reservatórios para os cenários médios

MESES		ANO MEDIO						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
RESERVATÓRIO TAPACURÁ	Volume inicial	78960	49350	78960	78960	49350	78960	78960
	Julho	94445	79073	93265	97126	81326	91300	94393
	Agosto	95902	80246	92657	98656	84242	95127	98382
	Setembro	90841	73956	86848	86893	77185	89791	88888
	Outubro	83428	60804	81769	72531	67017	82674	76456
	Novembro	72773	50033	73738	63433	53908	73771	69333
	Dezembro	66253	40962	65429	53428	44235	66996	63128
	Janeiro	57614	28175	58996	48376	33886	61809	56029
	Fevereiro	50344	20425	52217	39602	26357	55037	50786
	Março	51228	21969	50714	43689	28180	55511	51605
	Abril	60842	29286	59700	54821	36832	65635	59505
	Maio	68078	36512	65761	61986	39543	68786	65105
Junho	78961	49352	78961	78965	49394	79027	78990	
RESERVATÓRIO GOITÁ	Volume inicial	26500	26500	26500	26500	26500	26500	26500
	Julho	22943	7547	21789	24447	25910	24283	11878
	Agosto	31063	17102	30579	31175	31179	29984	18899
	Setembro	29821	16785	27498	33010	27694	28143	21132
	Outubro	25050	15880	21228	31669	21236	22751	19647
	Novembro	23987	12886	18448	25690	19125	19477	15095
	Dezembro	18122	9354	15500	20978	14464	14572	10411
	Janeiro	14218	8361	7905	10601	9861	9849	8521
	Fevereiro	10475	4707	4727	6123	4710	4720	4774
	Março	5007	5906	4706	4761	4822	7606	6753
	Abril	13534	4730	14834	5928	4706	16172	4858
	Maio	4723	5401	24527	11629	15442	26568	10702
Junho	26536	26501	44707	26502	37346	48536	27616	
RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA	Volume inicial	9254	9254	5784	-	-	9254	9254
	Julho	11255	11260	10260	-	-	11107	10855
	Agosto	11463	11525	11568	-	-	11480	11417
	Setembro	9013	9114	11230	-	-	8583	10992
	Outubro	5750	7273	6300	-	-	5865	9457
	Novembro	3890	6292	3492	-	-	4548	7877
	Dezembro	3232	4941	2306	-	-	3723	6501
	Janeiro	2646	4485	1999	-	-	966	2918
	Fevereiro	2154	3441	674	-	-	726	1982
	Março	4072	4124	3330	-	-	2554	3381
	Abril	5394	7213	3644	-	-	3151	5248
	Maio	6156	7523	4150	-	-	5797	6559
Junho	9300	9280	5811	-	-	9446	9280	
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _p máx) do reservatório Tapacurá		46,2	60,6	43,1	59,8	58,6	40,6	48,2
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _p máx) do reservatório Goitá		47,4	41,1	75,5	50,8	61,6	82,7	43,1
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _p máx) do reservatório Várzea do Una		80,5	69,9	94,2			93,0	81,6

A partir das Figuras 6.1a, 6.1b, 6.1c, 6.1d, 6.1e, 6.1f e 6.1g e da Tabela 6.8 é possível afirmar que a condição de preservação do volume de espera de 27 milhões de metros cúbicos (reservatório Goitá) no mês de julho, ou seja, o volume armazenado ser menor ou igual a 26 milhões de metros cúbicos, foi atendida para todos os cenários de ano médio. A condição de sustentabilidade hídrica dos três reservatórios também foi atendida para todos os cenários.

A partir da Tabela 6.8 observou-se que os menores volumes em todos os reservatórios ocorrem principalmente nos meses de fevereiro e março, coincidindo com o final dos meses de menores vazões afluentes.

Observou-se, também, que, mesmo o sistema atendendo a todas as suas finalidades, nenhum dos reservatórios atingiu o volume mínimo colocado como restrição do modelo. O menor volume do reservatório Tapacurá, 20.425.000 m³, aconteceu, no cenário 2, no mês de fevereiro quando o volume inicial do Tapacurá foi reduzido de 80 para 50% da sua capacidade máxima. O volume mínimo nesta situação foi de nove vezes maior que o mínimo admitido (2.200.000m³).

No reservatório Goitá, o menor volume foi praticamente o mesmo para todos os cenários, da ordem de 4.700.000 m³, cerca de seis vezes maior que o volume mínimo admitido (810.000 m³).

Já o reservatório Várzea do Una, no cenário 3, em fevereiro, teve seu menor volume, bastante aproximado do volume mínimo admitido (671.000 m³). Observa-se, então, que a redução do volume inicial de Várzea do Una de 80 para 50% da sua capacidade máxima fez com que, para maximizar a receita líquida total, o reservatório trabalhasse até o seu limite mínimo.

A variação das porcentagens dos volumes máximos e mínimos em relação a capacidade máxima de cada reservatório também é apresentada na Tabela 6.8. O reservatório Tapacurá sofreu maiores alterações, principalmente nos cenários C2, C4 e C5 quando comparados ao cenário 1. No cenário 2, a porcentagem de variação entre o volume máximo e mínimo em relação a capacidade máxima do Tapacurá é de 60,6%, enquanto no cenário 1 essa porcentagem é de 46,2%. Acontece que, no cenário 2 houve um maior aproveitamento da água para irrigação, conforme Tabelas 6.9 e 6.10, fazendo com que seu volume armazenado fosse menor. Nos cenários C4 e C5, com a exclusão do reservatório Várzea do Una, o sistema captou mais água do reservatório Tapacurá para suprir todas as

suas demandas, fazendo com que houvesse uma variação ainda maior entre os volumes máximos e mínimos em relação ao cenário 1.

No cenário 6, o comportamento dos volumes dos reservatórios é influenciado ao se mudar a função objetivo. Como neste cenário o objetivo é maximizar a mão de obra com a irrigação, o modelo optou por irrigar uma maior área, causando portanto uma maior variação de volume, nos reservatórios Goitá e Várzea do Una.

No cenário 7 não houve grandes alterações no comportamento dos volumes dos reservatórios quando comparados ao cenário 1, no entanto, na receita líquida da agricultura irrigada houve grandes alterações de um cenário para o outro, conforme Tabela 6.19.

As Tabelas 6.9 a 6.15 mostram os valores das afluências e demandas de cada reservatório para todos os cenários médios. As Figuras 6.2 a 6.8 complementam a visualização das vazões afluentes e demandadas dos três reservatórios para cada cenário estudado. As vazões liberadas pelas captações Tiúma e Castelo para abastecimento estão mostradas no gráfico do reservatório Goitá.

Tabela 6.9 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 1

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	13,11	2,94	0,00	0,42	4,53	0,73	10,33	0,00	0,14	11,82	1,76	0,33	0,00	0,06	0,71
Ago	4,53	2,12	0,15	0,48	1,51	1,29	4,39	0,51	0,20	0,68	0,95	0,59	0,07	0,07	0,20
Set	0,95	1,68	0,27	0,51	0,45	1,45	1,94	1,17	0,21	1,10	0,67	0,87	0,46	0,06	0,25
Out	0,54	1,92	0,35	0,56	0,62	1,50	1,04	1,58	0,22	1,09	0,48	0,58	0,75	0,05	0,34
Nov	0,65	2,62	0,28	0,54	1,39	0,96	0,94	1,10	0,22	0,06	0,48	0,42	0,72	0,04	0,01
Dez	0,78	2,46	0,28	0,52	0,14	1,48	0,99	1,17	0,18	1,90	0,53	0,06	0,68	0,04	0,01
Jan	0,60	2,42	0,29	0,49	0,83	1,47	0,79	1,05	0,15	1,11	0,54	0,11	0,58	0,03	0,04
Fev	0,95	2,45	0,48	0,38	0,56	1,50	0,97	0,94	0,10	1,39	0,53	0,05	0,58	0,02	0,08
Mar	2,87	2,28	0,08	0,37	0,15	1,49	2,53	0,21	0,05	4,41	1,04	0,23	0,00	0,04	0,07
Abr	5,45	1,81	0,03	0,35	0,01	1,48	4,75	0,00	0,10	1,47	1,21	0,71	0,00	0,04	0,01
Mai	4,59	1,77	0,00	0,36	0,10	1,50	4,58	0,00	0,04	8,01	1,02	0,73	0,00	0,04	0,00
Jun	7,65	2,71	0,00	0,38	0,96	0,96	8,40	0,00	0,16	0,00	1,52	0,34	0,00	0,05	0,00
Média	3,56	2,27	0,18	0,45	0,94	1,32	3,47	0,64	0,15	2,75	0,89	0,42	0,32	0,05	0,14

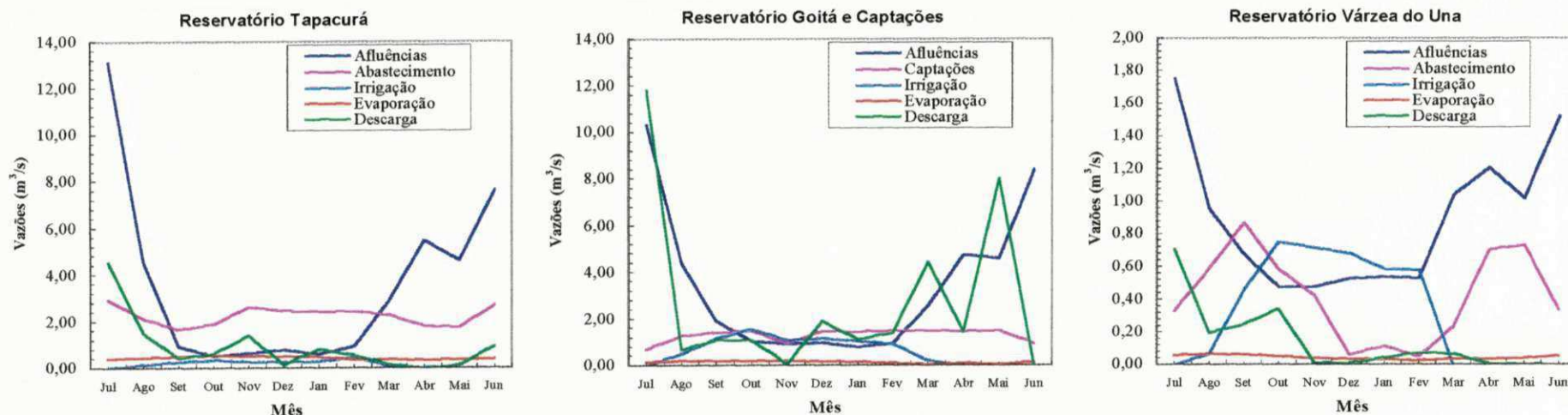


Figura 6.2 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 1.

Tabela 6.10 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 2

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)
Jul	13,11	1,71	0,00	0,38	0,19	1,40	10,33	0,00	0,06	17,76	1,76	0,90	0,00	0,06	0,15
Ago	4,53	2,72	0,40	0,43	0,79	0,51	4,39	0,46	0,13	0,22	0,95	0,77	0,06	0,07	0,00
Set	0,95	1,76	0,67	0,45	0,64	1,43	1,94	0,88	0,14	1,09	0,67	0,81	0,55	0,06	0,18
Out	0,54	2,78	0,92	0,47	1,46	0,97	1,04	1,25	0,16	0,00	0,48	0,26	0,87	0,06	0,00
Nov	0,65	2,47	0,83	0,43	1,11	1,43	0,94	1,14	0,14	0,82	0,48	0,10	0,70	0,06	0,01
Dez	0,78	2,55	0,81	0,39	0,58	1,11	0,99	1,22	0,11	1,02	0,53	0,34	0,66	0,05	0,01
Jan	0,60	2,54	0,85	0,32	1,84	1,45	0,79	1,09	0,10	0,00	0,54	0,01	0,57	0,05	0,10
Fev	0,95	2,19	0,86	0,22	0,72	1,50	0,97	1,05	0,05	1,28	0,53	0,32	0,59	0,03	0,00
Mar	2,87	1,85	0,08	0,23	0,32	1,50	2,53	0,24	0,06	1,82	1,04	0,65	0,00	0,04	0,13
Abr	5,45	2,47	0,06	0,23	0,16	1,50	4,75	0,00	0,04	5,21	1,21	0,03	0,00	0,05	0,00
Mai	4,59	1,61	0,00	0,25	0,24	1,50	4,58	0,00	0,05	4,34	1,02	0,89	0,00	0,05	0,02
Jun	7,65	2,18	0,00	0,29	0,67	1,08	8,40	0,00	0,16	0,28	1,52	0,74	0,00	0,05	0,13
Média	3,56	2,23	0,46	0,34	0,73	1,28	3,47	0,61	0,10	2,82	0,89	0,48	0,33	0,05	0,06

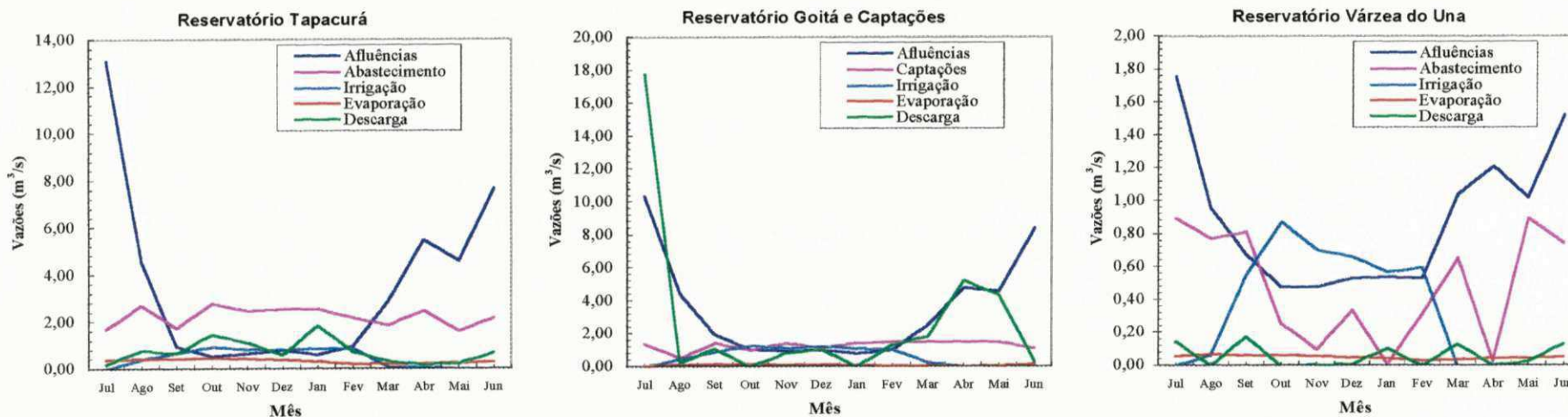


Figura 6.3 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 2.

Tabela 6.11 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 3

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)
Jul	13,11	2,85	0,00	0,41	5,08	1,09	10,33	0,00	0,14	12,27	1,76	0,06	0,00	0,06	0,01
Ago	4,53	2,15	0,09	0,47	2,34	1,49	4,39	0,56	0,20	0,38	0,95	0,36	0,07	0,07	0,01
Set	0,95	2,69	0,17	0,49	0,00	1,31	1,94	1,43	0,20	1,55	0,67	0,00	0,50	0,07	0,23
Out	0,54	1,79	0,21	0,56	0,00	1,40	1,04	1,93	0,19	1,32	0,48	0,80	0,89	0,06	0,61
Nov	0,65	1,96	0,15	0,54	1,18	1,34	0,94	1,17	0,18	0,67	0,48	0,70	0,81	0,04	0,01
Dez	0,78	2,24	0,14	0,52	1,19	1,50	0,99	1,17	0,16	0,81	0,53	0,27	0,67	0,03	0,01
Jan	0,60	2,47	0,15	0,49	0,07	1,50	0,79	1,04	0,10	2,56	0,54	0,03	0,58	0,03	0,03
Fev	0,95	2,62	0,23	0,38	0,44	1,37	0,97	1,10	0,05	1,04	0,53	0,01	0,63	0,01	0,39
Mar	2,87	2,51	0,01	0,37	0,90	1,48	2,53	0,28	0,05	2,25	1,04	0,01	0,00	0,03	0,01
Abr	5,45	1,85	0,03	0,35	0,22	1,26	4,75	0,00	0,11	0,85	1,21	0,89	0,00	0,03	0,21
Mai	4,59	2,14	0,00	0,35	0,18	1,03	4,58	0,00	0,15	0,87	1,02	0,83	0,00	0,03	0,00
Jun	7,65	1,68	0,00	0,38	1,08	1,42	8,40	0,00	0,23	0,69	1,52	0,90	0,00	0,04	0,00
Média	3,56	2,24	0,10	0,44	1,06	1,35	3,47	0,72	0,15	2,10	0,89	0,40	0,35	0,04	0,13

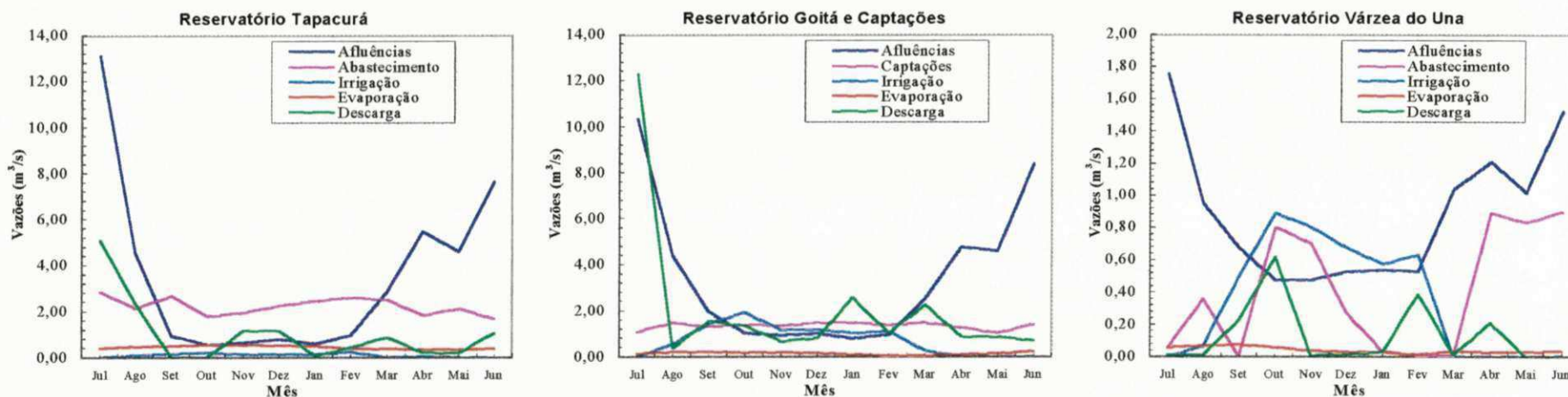


Figura 6.4 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 3.

Tabela 6.12 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 4

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ			
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)
Jul	13,11	2,94	0,00	0,42	3,50	1,06	10,33	0,00	0,15	11,24
Ago	4,53	1,15	0,52	0,49	1,38	2,85	4,39	0,46	0,20	1,28
Set	0,95	2,99	0,84	0,49	0,00	1,01	1,94	0,88	0,23	0,20
Out	0,54	2,89	1,17	0,52	1,53	1,11	1,04	1,24	0,26	0,08
Nov	0,65	2,37	1,14	0,50	0,21	1,63	0,94	1,09	0,23	1,93
Dez	0,78	2,91	1,14	0,46	0,21	1,09	0,99	1,17	0,20	1,45
Jan	0,60	1,00	1,19	0,44	0,01	3,00	0,79	1,05	0,12	3,60
Fev	0,95	2,83	0,99	0,33	0,28	1,17	0,97	0,97	0,06	1,66
Mar	2,87	1,17	0,10	0,34	0,00	2,83	2,53	0,21	0,05	2,84
Abr	5,45	1,03	0,04	0,33	0,19	2,97	4,75	0,00	0,05	4,31
Mai	4,59	1,89	0,00	0,34	0,00	2,11	4,58	0,00	0,09	2,40
Jun	7,65	1,05	0,00	0,38	0,25	2,95	8,40	0,00	0,16	2,70
Média	3,56	2,02	0,59	0,42	0,63	1,98	3,47	0,59	0,15	2,81

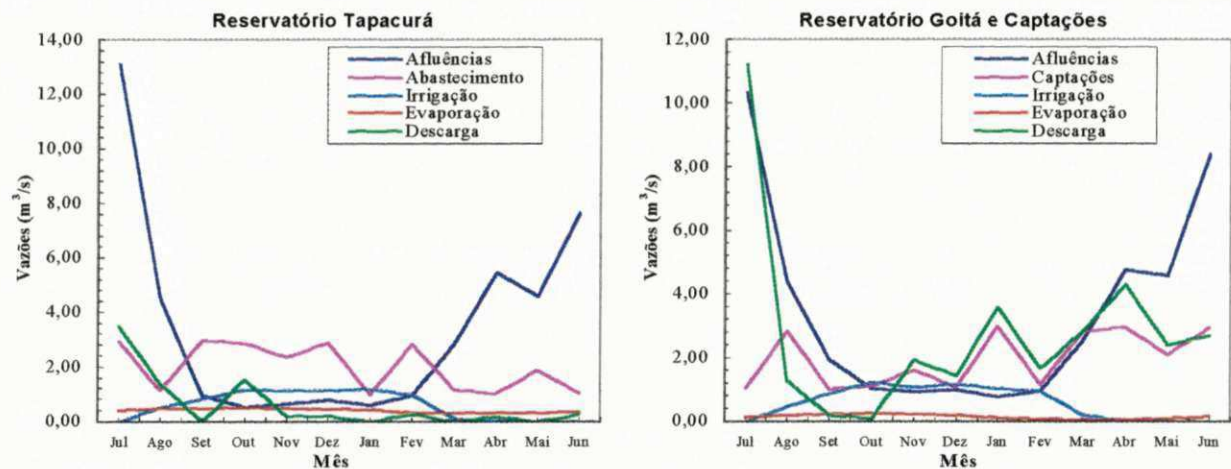


Figura 6.5 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá e Goitá para o cenário 4.

Tabela 6.13 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 5

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ			
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)
Jul	13,11	2,97	0,00	0,38	0,00	1,03	10,33	0,00	0,16	10,68
Ago	4,53	1,37	0,54	0,45	0,07	2,63	4,39	0,48	0,20	1,81
Set	0,95	1,97	0,89	0,46	0,43	2,03	1,94	1,09	0,20	2,04
Out	0,54	2,66	1,22	0,50	1,44	1,34	1,04	1,60	0,19	1,73
Nov	0,65	2,95	1,13	0,45	3,11	1,05	0,94	1,24	0,18	0,35
Dez	0,78	1,49	1,12	0,41	0,53	2,51	0,99	1,17	0,15	1,47
Jan	0,60	1,82	1,18	0,36	0,92	2,18	0,79	1,05	0,11	1,41
Fev	0,95	1,22	0,88	0,26	0,00	2,78	0,97	1,18	0,05	1,71
Mar	2,87	2,96	0,10	0,26	1,00	1,04	2,53	0,32	0,05	2,16
Abr	5,45	2,12	0,00	0,26	0,31	1,89	4,75	0,00	0,04	4,80
Mai	4,59	1,29	0,00	0,26	0,89	2,71	4,58	0,00	0,11	0,45
Jun	7,65	1,09	0,00	0,29	1,09	2,91	8,40	0,00	0,21	0,00
Média	3,56	1,99	0,59	0,36	0,82	2,01	3,47	0,68	0,14	2,38

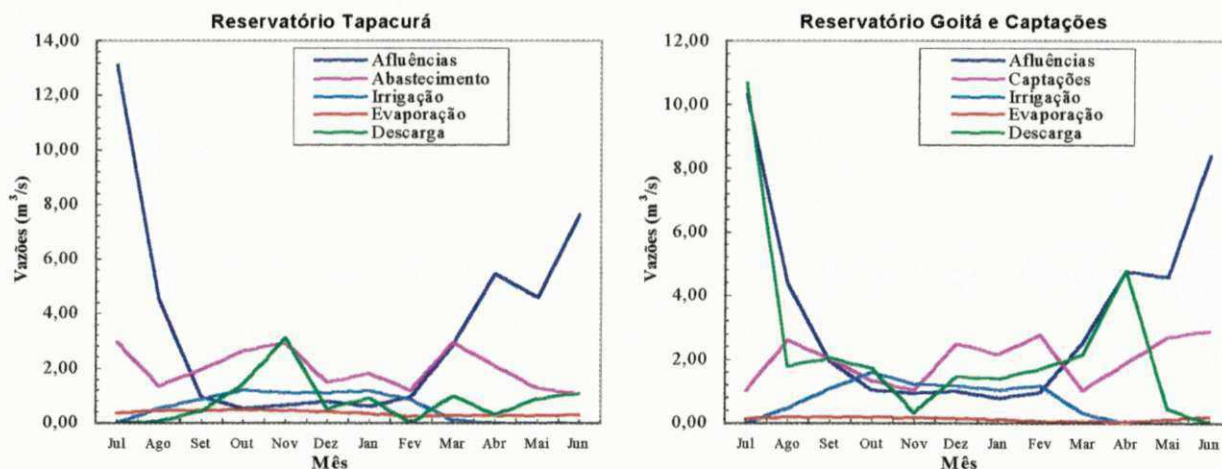


Figura 6.6 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá e Goitá para o cenário 5.

Tabela 6.14 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 6

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ					RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	13,11	2,67	0,00	0,41	6,01	0,50	10,33	0,00	0,15	11,30	1,76	0,83	0,00	0,06	0,27	
Ago	4,53	2,33	0,02	0,48	0,52	1,09	4,39	0,57	0,20	1,56	0,95	0,58	0,07	0,07	0,14	
Set	0,95	2,07	0,03	0,50	0,56	1,44	1,94	1,30	0,21	1,21	0,67	0,49	0,49	0,06	0,77	
Out	0,54	2,04	0,04	0,56	0,70	1,47	1,04	1,72	0,20	1,19	0,48	0,48	0,90	0,05	0,09	
Nov	0,65	2,62	0,04	0,54	0,95	1,37	0,94	1,16	0,19	0,86	0,48	0,01	0,85	0,05	0,08	
Dez	0,78	2,43	0,04	0,53	0,50	1,48	0,99	1,25	0,15	1,48	0,53	0,09	0,72	0,04	0,01	
Jan	0,60	2,07	0,04	0,51	0,10	1,44	0,79	1,12	0,11	1,38	0,54	0,50	0,62	0,02	0,46	
Fev	0,95	2,54	0,30	0,40	0,44	1,43	0,97	1,23	0,05	1,65	0,53	0,03	0,59	0,01	0,00	
Mar	2,87	2,40	0,06	0,39	0,19	1,35	2,53	0,34	0,08	1,07	1,04	0,25	0,00	0,03	0,09	
Abr	5,45	1,62	0,03	0,37	0,01	1,49	4,75	0,00	0,12	1,46	1,21	0,89	0,00	0,03	0,10	
Mai	4,59	2,57	0,00	0,36	0,88	1,43	4,58	0,00	0,16	0,60	1,02	0,00	0,00	0,04	0,00	
Jun	7,65	2,88	0,00	0,38	1,03	1,01	8,40	0,00	0,25	0,00	1,52	0,11	0,00	0,05	0,03	
Média	3,56	2,35	0,05	0,45	0,99	1,29	3,47	0,72	0,16	1,98	0,89	0,35	0,35	0,04	0,17	

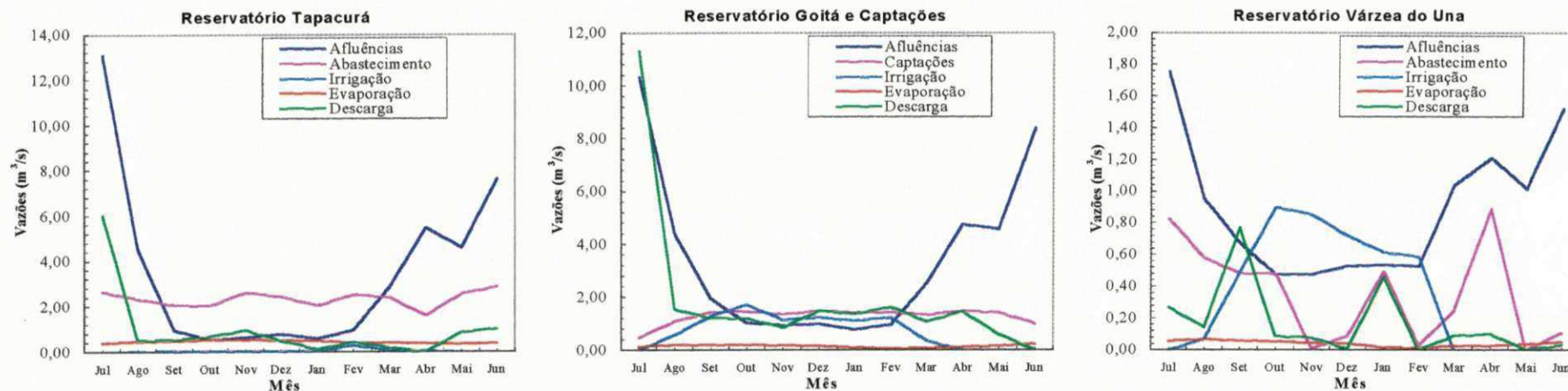


Figura 6.7 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 6.

Tabela 6.15 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 7

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações Qd (abast)	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	13,11	2,50	0,00	0,42	4,99	1,00	10,33	0,00	0,09	16,09	1,76	0,50	0,00	0,06	0,70
Ago	4,53	2,50	0,15	0,49	0,16	1,00	4,39	0,46	0,14	1,18	0,95	0,50	0,05	0,07	0,17
Set	0,95	2,50	0,26	0,50	0,31	1,00	1,94	0,98	0,17	0,00	0,67	0,50	0,30	0,07	0,00
Out	0,54	2,50	0,33	0,54	2,00	1,00	1,04	1,45	0,18	0,00	0,48	0,50	0,50	0,08	0,00
Nov	0,65	2,50	0,27	0,52	0,18	1,00	0,94	1,21	0,15	1,33	0,48	0,50	0,52	0,07	0,00
Dez	0,78	2,50	0,27	0,51	0,00	1,00	0,99	1,17	0,12	1,50	0,53	0,50	0,51	0,06	0,00
Jan	0,60	2,50	0,28	0,48	0,17	1,00	0,79	1,05	0,10	0,38	0,54	0,50	0,43	0,04	0,95
Fev	0,95	2,50	0,20	0,38	0,01	1,00	0,97	0,87	0,05	1,49	0,53	0,50	0,37	0,02	0,01
Mar	2,87	2,50	0,02	0,37	0,00	1,00	2,53	0,18	0,07	1,58	1,04	0,50	0,00	0,03	0,00
Abr	5,45	2,50	0,00	0,35	0,01	1,00	4,75	0,00	0,04	5,49	1,21	0,50	0,00	0,04	0,00
Mai	4,59	2,50	0,00	0,35	0,00	1,00	4,58	0,00	0,08	2,34	1,02	0,50	0,00	0,04	0,02
Jun	7,65	2,50	0,00	0,38	0,00	1,00	8,40	0,00	0,16	1,91	1,52	0,50	0,00	0,05	0,00
Média	3,56	2,50	0,15	0,44	0,65	1,00	3,47	0,61	0,11	2,78	0,89	0,50	0,22	0,05	0,15

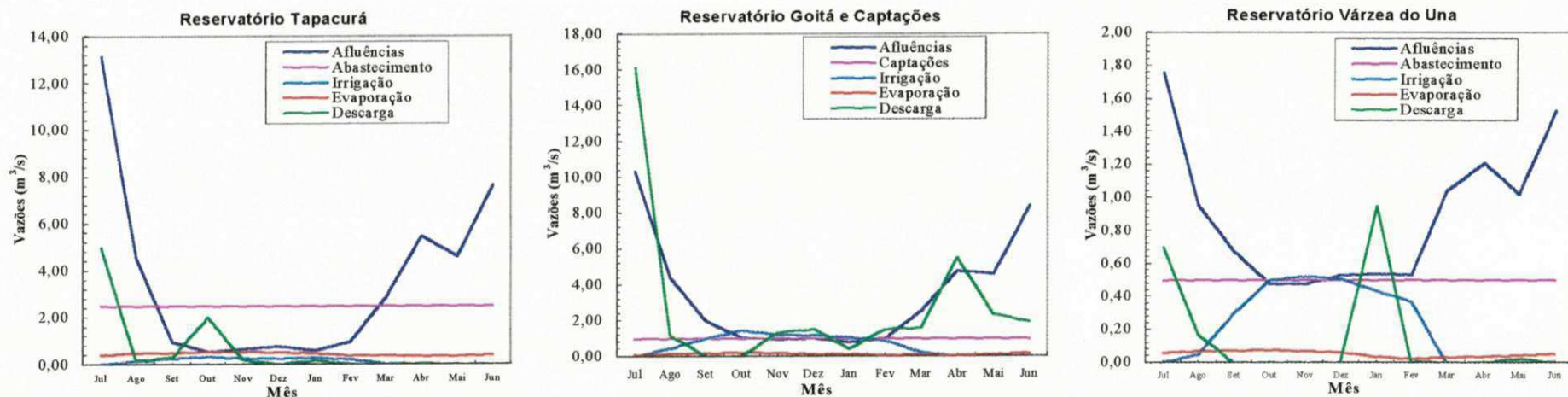


Figura 6.8 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 7.

Verificou-se que, para todos os cenários médios mostrados pelas Tabelas 6.9 a 6.15 e pelas Figuras 6.2 a 6.8, a demanda de $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento foi atendida. Nos cenários 4 e 5, além de retirar o reservatório Várzea do Una do sistema, aumentou-se a vazão limitada pelas captações de Tiúma e Castelo de $1,5\text{m}^3/\text{s}$ para $3,0\text{m}^3/\text{s}$. Esta alteração na limitação das vazões foi feita para que a vazão dos $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento fosse atendida. Neste caso as bombas teriam que ser duplicadas. A vazão ecológica, nos meses de estiagem, com o intuito de preservar o rio também foi atendida. Nos meses de setembro a fevereiro (meses de baixas precipitações) ocorreram as maiores solicitações de água para a agricultura irrigada em todos os cenários médios. As altas vazões de descarga dos reservatórios não excedem o máximo permitido da calha do rio para que não ocorram inundações.

As vazões mensais liberadas para abastecimento humano tiveram muitas alterações nos cenários, quando se compara os mesmos reservatórios. É devido a essas alterações, que se torna possível irrigar mais áreas.

Em relação a vazão liberada para irrigação, no cenário 2, o reservatório Tapacurá liberou mais água do que no cenário 1. A razão para este comportamento pode ser atribuída ao fato do reservatório Tapacurá sofrer efeito bastante acentuado relacionando o volume inicial e o critério de sustentabilidade hídrica no cenário 1. No cenário C3 a vazão total liberada para irrigação não foi muito alterada comparada ao cenário 1, no entanto, o reservatório Tapacurá não dispunha de água suficiente para irrigar a cultura da banana durante todo o ano, fazendo com que a receita líquida fosse diminuída, conforme Tabela 6.19.

O cenário 5 quando comparado ao cenário 4 apresentou um acréscimo na vazão liberada para irrigação, o qual já era esperado devido ao volume inicial ser menor facilitando o atendimento do critério de sustentabilidade hídrica.

Como o cenário 6 visava a maximização da mão de obra com a irrigação houve um acréscimo na vazão liberada para irrigação.

No cenário 7, houve redução da vazão liberada para irrigação em relação ao cenário 1, conseqüentemente a receita líquida também foi reduzida (ver Tabela 6.19). Tal comportamento se explica pelo fato do sistema no cenário 7 não está trabalhando de forma otimizada como no cenário 1. As tomadas de água mensais iguais para o abastecimento interfere de forma a diminuir a receita líquida da irrigação. Neste caso, o reservatório

Tapacurá poderia disponibilizar mais água em épocas que visem atender as necessidades hídricas de culturas mais rentáveis, como, por exemplo, o tomate.

A Tabela 6.16 apresenta os resultados das vazões terminais para o rio Capibaribe nos anos médios.

Tabela 6.16 – Vazões terminais (em m^3/s) para o rio Capibaribe dos anos médios

MESES	ANO MÉDIO						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Julho	16,33	16,70	16,26	13,68	7,71	17,09	20,78
Agosto	1,10	0,50	1,24	0,50	0,50	1,13	0,51
Setembro	0,51	0,50	0,50	0,50	0,51	1,10	0,51
Outubro	0,55	0,50	0,54	0,50	0,51	0,50	1,00
Novembro	0,50	0,50	0,51	0,50	0,51	0,52	0,50
Dezembro	0,57	0,50	0,52	0,56	0,50	0,51	0,50
Janeiro	0,52	0,50	1,15	0,60	0,51	0,50	0,50
Fevereiro	0,52	0,50	0,50	0,77	0,50	0,67	0,50
Março	3,14	0,77	1,67	0,01	0,20	0,00	0,58
Abril	0,00	3,88	0,01	1,53	2,99	0,08	4,51
Maio	6,61	3,10	0,03	0,29	0,05	0,06	1,36
Junho	0,00	0,00	0,35	0,00	0,01	0,05	0,91

Verifica-se a partir da Tabela 6.16 que a vazão ecológica de $0,50 m^3/s$ foi naturalmente atendida para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, meses de estiagem.

- Agricultura irrigada

A Tabela 6.17 apresenta as áreas de plantio planejadas e otimizadas por cultura e perímetro para todos os cenários do ano médio.

Tabela 6.17 – Áreas otimizadas (em ha) por cultura e perímetro para os cenários do ano médio

CULTURAS		Área máx planejada (ha)	ANO MÉDIO						
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PERÍMETRO 1	Banana	1600	388,9	1149,8	187,8	1600,0	1600,0	14,9	379,51
	Tomate	400	399,9	400,0	398,6	0,0	0,2	400,0	2,55
	Melancia (entressafra)	100	99,0	99,8	98,1	0,5	99,9	7,4	99,24
	Feijão (safra)	400	383,4	81,1	0,2	0,0	50,7	398,0	0,01
	Feijão (entressafra)	600	16,2	1,6	0,7	0,0	7,0	0,9	0
	Milho	800	2,6	608,9	5,4	799,3	0,2	0,0	0
	Algodão (entressafra)	200	1,4	35,2	0,7	1,8	0,2	0,0	2,22
	Cana-de-açúcar	2000	2,6	1,6	15,6	18,1	1,0	32,8	0,72
Total			1294,0	2378,0	707,1	2419,7	1759,1	854,0	484,3
PERÍMETRO 2	Banana	1500	1499,9	1500,0	1495,2	1500,0	1500,0	1499,6	1498,57
	Tomate	400	400,0	400,0	398,9	400,0	400,0	400,0	399,35
	Melancia (entressafra)	150	0,4	4,1	48,2	127,9	149,5	148,8	149,44
	Feijão (safra)	600	187,5	137,5	381,0	1,5	591,1	599,9	0,29
	Feijão (entressafra)	800	525,8	51,9	791,5	0,0	135,4	509,1	0,13
	Milho	800	42,7	772,8	796,8	799,4	799,9	799,7	0,74
	Algodão (entressafra)	250	15,7	0,0	143,7	2,1	249,3	0,4	198,35
	Cana-de-açúcar	1500	0,8	56,2	0,0	0,0	0,0	87,9	0
Total			2672,9	2922,5	4055,3	2830,9	3825,2	4045,4	2246,9
PERÍMETRO 3	Banana	1300	984,2	970,3	979,6	-	-	1060,0	746,74
	Tomate	300	299,9	300,0	2,3	-	-	299,3	60,1
	Melancia (entressafra)	100	98,2	44,3	100,0	-	-	29,3	0
	Feijão (safra)	400	0,7	89,6	382,2	-	-	44,8	0,27
	Feijão (entressafra)	500	12,4	247,5	0,3	-	-	0,5	0
	Milho	400	397,3	398,2	390,0	-	-	21,6	0,03
	Algodão (entressafra)	200	21,6	34,1	194,8	-	-	196,5	0
	Cana-de-açúcar	2500	17,2	3,7	11,2	-	-	0,2	0,09
Total			1831,5	2087,7	2060,3	-	-	1652,3	807,2

A partir da Tabela 6.17, as áreas das culturas para os três perímetros são totalizadas e apresentadas na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 – Áreas otimizadas x áreas planejadas para os perímetros no ano médio

ANO MÉDIO	Cenários	Bana-	Toma-	Melan-	Feijão	Feijão	Milho	Algo-	Can-		
		na	te	cia	(safra)	(entres		dão	de-		
			(entres		-safra)		(entres	-safra)	açúcar		
	C1	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000	
		Área otimizada/cultura (ha)	2873,0	1100	197,6	571,6	554,5	442,6	38,6	20,6	
		% de área plantada/cultura	65,3	100,0	56,5	40,8	29,2	22,1	5,9	0,3	
		Área máxima planejada (ha)							12000		
		Área máxima otimizada (ha)							5798,3		
	%							de área atendida			48,3
	C2	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000	
Área otimizada/cultura (ha)		3620,1	1100,0	148,2	308,2	301,0	1779,8	69,4	61,6		
% de área plantada/cultura		82,3	100,0	42,3	22,0	15,8	89,0	10,7	1,0		
Área máxima planejada (ha)							12000				
Área máxima otimizada (ha)							7388,1				
%							de área atendida			61,6	
C3	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000		
	Área otimizada/cultura (ha)	2662,6	799,8	246,3	763,3	792,5	1192,1	339,2	26,8		
	% de área plantada/cultura	60,5	72,7	70,4	54,5	41,7	59,6	52,2	0,4		
	Área máxima planejada (ha)							12000			
	Área máxima otimizada (ha)							6822,8			
%							de área atendida			56,9	
C4	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000		
	Área otimizada/cultura (ha)	3100,0	400,0	128,4	1,5	0,0	1598,7	3,9	18,1		
	% de área plantada/cultura	70,5	36,4	36,7	0,1	0,0	79,9	0,6	0,3		
	Área máxima planejada (ha)							8000			
	Área máxima otimizada (ha)							5250,5			
%							de área atendida			65,6	
C5	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000		
	Área otimizada/cultura (ha)	3100,0	400,2	249,4	641,8	142,4	800,1	249,5	1,0		
	% de área plantada/cultura	70,5	36,4	71,2	45,8	7,5	40,0	38,4	0,0		
	Área máxima planejada (ha)							8000			
	Área máxima otimizada (ha)							5584,3			
%							de área atendida			69,8	
C6	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000		
	Área otimizada/cultura (ha)	2574,5	1099,3	185,5	1042,8	510,5	821,3	196,9	120,9		
	% de área plantada/cultura	58,5	99,9	53,0	74,5	26,9	41,1	30,3	2,0		
	Área máxima planejada (ha)							12000			
	Área máxima otimizada (ha)							6551,7			
%							de área atendida			54,6	
C7	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000		
	Área otimizada/cultura (ha)	2624,8	462,0	248,7	0,6	0,1	0,8	200,6	0,8		
	% de área plantada/cultura	59,7	42,0	71,1	0,0	0,0	0,0	30,9	0,0		
	Área máxima planejada (ha)							12000			
	Área máxima otimizada (ha)							3538,4			
%							de área atendida			29,5	

A relação da área de plantio otimizada (somatório das áreas irrigadas com culturas de safra e entressafra) e a área irrigável dos três perímetros (12000 ha) também estão apresentadas na Tabela 6.18.

O cenário 1, considerado como cenário padrão médio, de acordo com a Tabela 6.17, atendeu a 48,3% da área máxima planejada para os três perímetros. Verificou-se ainda, que só a cultura do tomate teve área máxima planejada atendida, seguida da banana com 65,3% e da melancia com 56,5%.

Para o cenário 2, a única alteração em relação ao cenário 1 foi a mudança no volume inicial do reservatório Tapacurá, passando de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Neste caso, a área total irrigada foi de 61,6% da área máxima planejada. Apesar da redução de 29.610.000 m³ de água disponível no reservatório Tapacurá no início do processo, houve um aumento de 13,3% da área irrigada total (os três perímetros) quando comparado ao cenário 1. As razões para este comportamento podem ser atribuídas ao fato do reservatório Tapacurá, por ser o de maior capacidade, sofrer um efeito bastante acentuado relacionado com o critério de sustentabilidade hídrica do mesmo, ou seja, iniciando com um volume menor e, conseqüentemente, tendo que terminar com um volume menor que o do cenário 1, possibilita uma maior flexibilidade da alocação da água afluyente ao reservatório durante o ano para uso da irrigação. A cultura do tomate teve área máxima planejada atendida, seguida do milho com 89,0% e da banana com 82,3%.

Para o cenário 3, a única alteração em relação ao cenário 1 foi a mudança no volume inicial do reservatório Várzea do Una, passando de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Neste caso, a área total irrigada foi de 56,9% da área máxima planejada. Apesar da redução de 3.470.400 m³ de água disponível no reservatório Várzea do Una no início do processo, houve um aumento de 8,6% da área irrigada total, equivalente a um acréscimo de 1024 ha, quando comparado ao cenário 2, no qual o aumento foi de 1590 ha para uma redução bem maior de volume do Tapacurá (29.610.000 m³). Tende-se associar as causas deste aumento não só ao critério de sustentabilidade hídrica mas também ao fato do reservatório Várzea do Una estar situado em uma região mais úmida do que o Tapacurá, conseqüentemente recebendo afluxos com menor variabilidade temporal que os demais reservatórios possibilitando um melhor aproveitamento desta água para irrigação. A cultura do tomate teve 72,7% da área máxima planejada atendida, seguida da melancia com 70,4% e da banana com 60,5%.

Analisando-se os cenários C1, C2 e C3 com relação as áreas alocadas para cada cultura em cada perímetro (Tabela 6.17), observa-se que algumas culturas praticamente não sofrem variações nas áreas alocadas de um cenário para outro, ocorrendo o inverso para outras culturas. Por exemplo, a cultura da banana quase não sofreu alterações de área no perímetro 2 e 3, tendo sofrido grandes alterações no perímetro 1. A cultura do tomate apenas no cenário 3, perímetro 3, sofreu uma enorme redução de área plantada.

O cenário 4 conseguiu atender a 43,8% da área máxima planejada dos 12.000 ha. Já o cenário 5 atendeu 46,5% da área máxima planejada. No cenário 4, quando se exclui do sistema o reservatório de Várzea do Una, exclui-se também o perímetro irrigado 3. Uma vez que o reservatório Várzea do Una não contribui para as vazões de abastecimento para a ETA, existirão maiores pressões no resto do sistema, ocorrendo uma redução na área irrigada de 9,45% para o cenário 4 em relação ao cenário 1. O mesmo ocorre em relação ao cenário 5, havendo apenas um acréscimo de área irrigada em reforço ao cenário 4, o qual já era esperado devido ao volume inicial e ao critério de sustentabilidade hídrica.

No cenário 6 a área total irrigada foi de 54,6% da área máxima planejada. Este aumento em relação ao cenário 1, se explica pelo fato de que, neste cenário, a função objetivo é a maximização da mão de obra, o que significa que com uma maior área plantada seria necessário mais mão de obra.

Finalmente para o cenário 7, onde a única alteração em relação ao cenário 1 foi a fixação das demandas de abastecimento nos reservatórios ($2,5\text{m}^3/\text{s}$ para Tapacurá, $1,0\text{m}^3/\text{s}$ para Goitá e $0,5\text{m}^3/\text{s}$ para Várzea do Una, somando os $4\text{m}^3/\text{s}$), verificou-se que a área total irrigada foi 29,5%, ou seja, houve um menor atendimento da área máxima planejada em relação ao cenário padrão (cenário 1). Este resultado mostra que no cenário 1, existe a flexibilidade do modelo na escolha das vazões aduzidas mensais de cada reservatório, que totalizam os $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento, permitindo otimizar tais vazões e liberar mais água para a irrigação.

Complementando os resultados das Tabelas 6.17, 6.18, a Tabela 6.19 apresenta a Receita Líquida (RL) otimizada auferida pela agricultura irrigada nos três perímetros, evidenciando que o modelo aloca áreas prioritariamente para a irrigação de culturas de maior retorno financeiro.

Tabela 6.19 – Receita líquida otimizada por cultura e por perímetro do ano médio (em Reais x 1000)

CULTURAS		ANO MÉDIO						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PERÍMETRO 1	Banana	5324,8	15743,5	2571,6	21907,7	21907,7	204,1	5196,43
	Tomate	9495,9	9497,4	9464,6	0,3	3,5	9497,0	60,49
	Melancia (entressafra)	513,1	517,4	508,7	2,5	517,7	38,1	514,38
	Feijão (safra)	118,2	25,0	0,1	0,0	15,6	122,8	0
	Feijão (entressafra)	11,9	1,2	0,5	0,0	5,1	0,6	0
	Milho	2,9	679,7	6,0	892,3	0,3	0,0	0
	Algodão (entressafra)	1,5	38,6	0,8	2,0	0,2	0,0	2,43
	Cana-de-açúcar	-1,4	-0,9	-8,6	-10,0	-0,6	-18,2	-0,4
PERÍMETRO 2	Banana	20535,4	20536,4	20470,4	20535,9	20536,3	20531,3	20516,8
	Tomate	9498,9	9498,8	9473,0	9498,6	9499,0	9497,8	9483,51
	Melancia (entressafra)	2,2	21,3	249,9	662,8	774,6	771,0	774,38
	Feijão (safra)	57,6	42,2	117,0	0,5	181,5	184,2	0,09
	Feijão (entressafra)	383,5	37,8	577,3	0,0	98,7	371,3	0,1
	Milho	47,7	863,5	890,4	893,2	893,8	893,6	0,83
	Algodão (entressafra)	17,1	0,0	156,9	2,3	272,2	0,4	216,55
	Cana-de-açúcar	-0,5	-31,2	0,0	0,0	0,0	-48,8	0
PERÍMETRO 3	Banana	13484,0	13292,6	13421,2	-	-	14522,2	10230,5
	Tomate	7123,4	7124,1	54,1	-	-	7108,9	1427,34
	Melancia (entressafra)	510,6	230,1	519,8	-	-	152,6	0
	Feijão (safra)	0,2	28,4	121,1	-	-	14,2	0,08
	Feijão (entressafra)	9,2	184,7	0,2	-	-	0,4	0
	Milho	444,9	445,9	436,7	-	-	24,2	0,04
	Algodão (entressafra)	23,7	37,6	214,4	-	-	216,2	0
	Cana-de-açúcar	-9,4	-2,0	-6,1	-	-	-0,1	-0,05
Total/perímetros (x1000)		67595,5	78811,9	59239,7	54388,1	54705,6	64083,9	48423,6
%da RL em relação ao cenário padrão			16,6	-12,4	-19,5	-19,1	-5,2	-28,4

Para todos os cenários do ano médio verificou-se que só a cultura da cana-de-açúcar apresentou prejuízo, tendo o modelo preservado a área mínima.

O cenário 2 obteve uma RL total maximizada de 78.811.900 reais, o que representa um incremento de 16,6% em relação ao cenário 1, justificado pelo também acréscimo na área plantada e uma grande mudança no padrão de alocação de área otimizada com relação ao perímetro 1 (Tapacurá).

O cenário 3 obteve uma RL total maximizada de 59.239.700 reais, o que representa uma redução de 12,4% em relação ao cenário 1. Esta redução é verificada no perímetro 3,

quando houve uma priorização da alocação de áreas para a cultura do feijão safra em detrimento da cultura do tomate, apesar do feijão proporcionar uma receita líquida bem inferior a receita líquida do tomate.

Devido a exclusão do reservatório Várzea do Una e do perímetro 3, o cenário 4 obteve uma RL total maximizada de 54.388.100 reais, o que representa uma defasagem negativa de 19,5% em relação ao cenário 1.

No cenário 5, apesar da exclusão do reservatório Várzea do Una e da diminuição do volume inicial de Tapacurá de 80 para 50% da sua capacidade máxima, já era esperado uma maior receita em relação ao cenário 4, já que o volume inicial foi reduzido, o que torna mais fácil garantir a sustentabilidade hídrica e liberar mais água para a irrigação.

A extrema importância do reservatório Várzea do Una na geração da receita é verificada quando se compara os cenários C2 e C5, com seus respectivos antecessores (C1 e C4), o cenário 2 teve um aumento de 16,6% em relação ao cenário 1, enquanto o cenário 5 teve aumento de apenas 0,58% em relação ao cenário 4.

O cenário 6 obteve uma RL total maximizada de 64.083.900 reais, o que representa uma redução de 5,2% em relação ao cenário 1. Este resultado era esperado, mesmo com o aumento na área plantada, já que neste caso a função objetivo visava a maximização da mão de obra e não da receita líquida. Para este cenário, foram calculados 4.500 homens por ano para os 6.551,7 ha. No cenário 1 este número era de 4.352 homens por ano para os 5.798,3 ha, havendo portanto um acréscimo de 148 trabalhadores.

O cenário 7 obteve uma RL total maximizada de 48.423.600 reais, o que representa uma redução de 28,4% em relação ao cenário 1. Neste caso, constata-se que a fixação de tomadas de água mensais iguais para o abastecimento interfere de forma a diminuir a receita líquida gerada com a irrigação. O sistema atualmente trabalha conforme este cenário, verificando-se, sem que ocorra o comprometimento das vazões de abastecimento, a possibilidade de um incremento na receita líquida gerada pelo sistema em 28,4%.

Em geral, observa-se que quanto maior a amplitude de variação dos volumes máximos e mínimos em relação a capacidade do reservatório maior a receita gerada com a agricultura irrigada, conforme Tabelas 6.8 e 6.19.

- **Piscicultura**

Os resultados otimizados com a prática da piscicultura extensiva nos três reservatórios para os cenários médios estão apresentados na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 – Resultados otimizados para a piscicultura extensiva nos três reservatórios

Resultados		ANO MEDIO						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Reservatório Tapacurá	Área Mín. (km ²)	6,6	3,9	6,7	5,8	4,5	7,0	6,678
	Produção (t)	79,7	46,5	80,1	69,3	54,3	84,0	80,14
	Mão de obra(pes)	53	31	53	46	36	56	53
	Receita liq. (R\$)	93684,3	54632,5	94085,6	81386,1	63837,1	98672,1	94162,86
Reservatório Goiá	Área Mín. (km ²)	0,911	0,908	0,908	0,917	0,908	0,91	0,919
	Produção (t)	10,93	10,9	10,9	11,01	10,9	10,93	11,03
	Mão de obra(pes)	7	7	7	7	7	7	7
	Receita liq. (R\$)	12843,6	12807,1	12805,7	12932,7	12805,0	12837,6	12961,59
Reservatório Várzea do Una	Área Mín. (km ²)	0,4	0,6	0,2	-	-	0,2	0,409
	Produção (t)	5,2	6,9	2,6	-	-	2,7	4,91
	Mão de obra(pes)	3	5	2	-	-	2	3
	Receita liq. (R\$)	6068,8	8153,8	3055,7	-	-	3190,1	5768,36
Total da receita (R\$)		112596,7	75593,4	109947,0	94318,8	76642,2	114699,7	112892,8
Total da Mão de obra		63	43	62	53	43	65	63
Renda per capita por ano (R\$)		1787,2	1758,0	1773,3	1779,6	1782,4	1764,6	1791,9
%da RI em relação ao cenário padrão			-32,9	-2,4	-16,2	-31,9	1,9	0,3

A piscicultura é afetada diretamente com as reduções feitas no volume inicial dos reservatórios, principalmente no Tapacurá, que tem maior variação de volume. Quanto maior o volume inicial maior a receita gerada com a piscicultura devido ao critério de sustentabilidade hídrica imposto ao problema. Neste caso, a receita líquida dos cenários C2 e C3 são menores que a receita líquida do cenário 1.

Nos cenários C4 e C5, mesmo sem a contribuição do reservatório Várzea do Una, a receita gerada com a piscicultura foi maior do que no cenário 2, quando apenas reduziu-se o volume inicial de Tapacurá de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Nestes cenários observou-se que a receita líquida gerada com a piscicultura é bastante influenciada pelo reservatório Tapacurá, conforme Tabela 6.8, no cenário 2 o reservatório apresenta uma maior variabilidade de volume.

No cenário 6 observou-se que o volume mínimo, no reservatório de maior capacidade, foi maior que o cenário 1, o que favoreceu a piscicultura.

Como no cenário 7 a vazão para o abastecimento não foi otimizada, os reservatórios ficaram com volume mínimo maior que os outros cenários, o que possibilitou uma maior receita na piscicultura em relação ao cenário 1.

Vale destacar que os volumes iniciais, a sustentabilidade hídrica, a função objetivo e as condições de operações (representações 1 e 2) influenciaram os resultados obtidos.

ANO SECO:

• **Comportamento dos reservatórios**

As Figuras 6.9a, 6.9b e 6.9c e a Tabela 6.21 apresentam o comportamento das variações mensais de volumes armazenados nos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para os cenários de ano seco.

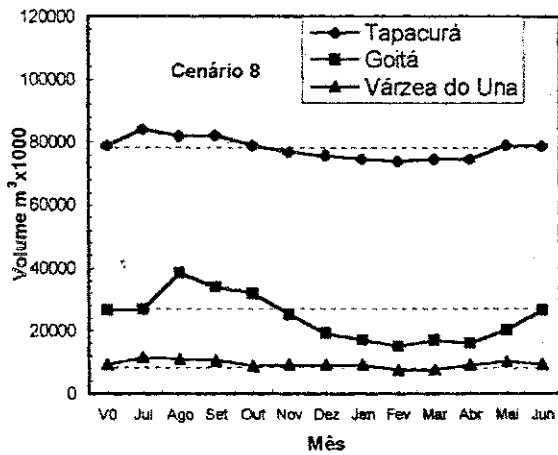


Figura 6.9a – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 8.

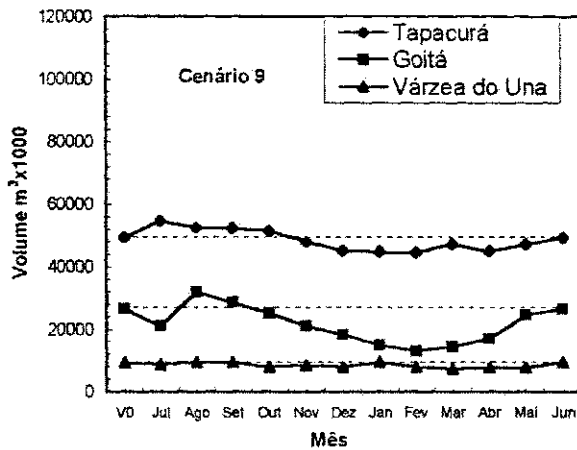


Figura 6.9b – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 9.

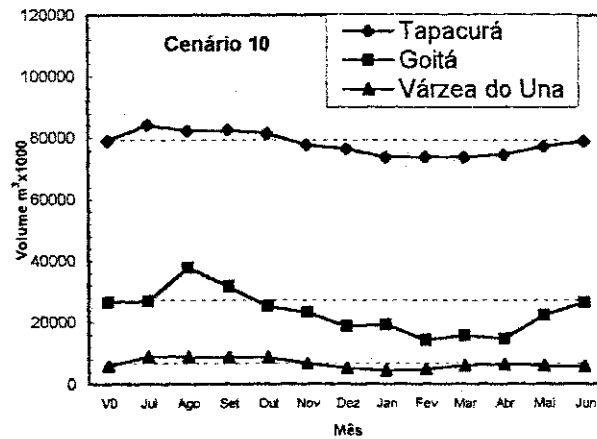


Figura 6.9c – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 10.

Tabela 6.21 - Volumes mensais (em m³ x 1000) dos reservatórios para os cenários secos

MESES		ANO SECO		
		C8	C9	C10
RESERVATÓRIO TAPACURÁ	Volume inicial	78960	49350	78960
	Julho	84059	54583	84251
	Agosto	81975	52636	82354
	Setembro	82135	52343	82635
	Outubro	78857	51414	81489
	Novembro	76839	47993	77691
	Dezembro	75690	45313	76460
	Janeiro	74628	44939	73841
	Fevereiro	73910	44622	73959
	Março	74673	47233	73963
	Abril	74650	45038	74787
	Maiο	79130	47280	77447
	Junho	78960	49353	78960
RESERVATÓRIO GOITÁ	Volume inicial	26500	26500	26500
	Julho	26905	21029	26985
	Agosto	38398	31902	37586
	Setembro	33908	28499	31569
	Outubro	31897	25138	25232
	Novembro	25066	21126	23211
	Dezembro	19171	18131	18724
	Janeiro	17012	14862	19275
	Fevereiro	15028	13051	14245
	Março	16882	14235	15715
	Abril	15997	16845	14787
	Maiο	20218	24646	22414
	Junho	26502	26507	26507
RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA	Volume inicial	9254	9254	5784
	Julho	11475	8620	8944
	Agosto	10842	9359	8876
	Setembro	10448	9462	8774
	Outubro	8593	7929	8781
	Novembro	9277	8461	6689
	Dezembro	8924	7968	5233
	Janeiro	8916	9397	4242
	Fevereiro	7294	7845	4721
	Março	7465	7338	5981
	Abril	8964	7677	6444
	Maiο	10080	7698	6054
	Junho	9280	9331	5801
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _{pmáx}) do reservatório Tapacurá		10,3	10,1	10,5
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _{pmáx}) do reservatório Goitá		44,1	35,6	44,0
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _{pmáx}) do reservatório Várzea do Una		36,1	18,4	36,5

É possível afirmar a partir das Figuras 6.9a, 6.9b e 6.9c e da Tabela 6.21 que a condição de preservação do volume de espera de 27 milhões de metros cúbicos (reservatório Goitá) no mês de julho e a condição de sustentabilidade hídrica dos três reservatórios foram atendidas para todos os cenários de ano seco.

A partir da Tabela 6.21 observou-se que, os menores volumes em todos os reservatórios ocorre principalmente em fevereiro, coincidindo com o final do mês de menor vazão afluente.

Entre os meses de setembro e fevereiro, as demandas mensais para abastecimento do reservatório Goitá, superam as afluências, o que explica a depleção dos volumes deste manancial mostrada nas Figuras 6.9a, 6.9b e 6.9c. Neste período, a importância do reservatório Goitá é demonstrada pelas acentuadas vazões mensais para o abastecimento e vazão ecológica, as quais buscam suprir as deficiências do sistema.

Observou-se, também, que, mesmo sendo um ano seco, o sistema atendeu as finalidades impostas e nenhum dos reservatórios atingiu o volume mínimo, colocado como restrição do modelo. O menor volume do reservatório Tapacurá aconteceu no cenário 9 no mês de fevereiro com 44.622.000 m³, quando o volume inicial do Tapacurá foi reduzido de 80 para 50% da sua capacidade máxima. No reservatório Goitá, o menor volume aconteceu também no cenário 9 no mês de fevereiro com 13.051.000 m³.

O reservatório Várzea do Una, apresentou o menor volume no cenário 10 no mês de janeiro com 4.242.000 m³. Justifica-se tal volume quando comparado ao cenário 8, porque neste cenário houve uma redução no volume inicial do Várzea do Una de 80 para 50% da sua capacidade máxima.

Como se trata de cenários de ano seco não houve grandes alterações na variação das porcentagens dos volumes máximos e mínimos em relação a capacidade máxima de cada reservatório.

As Tabelas 6.22 a 6.24, complementadas pelas Figuras 6.10 a 6.12, mostram os valores das afluências e demandas de cada reservatório para todos os cenários secos. A vazão liberada pelas captações Tiúma e Castelo para abastecimento estão mostradas no gráfico do reservatório Goitá.

Tabela 6.22 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 8

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)
Jul	2,01	0,00	0,00	0,39	0,08	2,63	3,61	0,00	0,16	3,46	1,21	0,37	0,00	0,06	0,00
Ago	0,99	1,41	0,01	0,44	0,10	0,72	5,55	0,87	0,24	0,13	0,66	0,86	0,00	0,07	0,00
Set	0,59	0,12	0,02	0,48	0,04	2,32	1,29	1,11	0,24	1,73	0,51	0,56	0,00	0,07	0,05
Out	0,50	1,31	0,02	0,55	0,00	0,79	0,73	1,27	0,26	0,00	0,53	0,90	0,00	0,07	0,29
Nov	0,52	0,69	0,00	0,55	0,10	2,31	0,54	1,21	0,23	1,72	0,33	0,00	0,00	0,08	0,00
Dez	0,58	0,38	0,00	0,56	0,15	2,29	0,70	1,24	0,19	1,54	0,36	0,33	0,00	0,08	0,10
Jan	0,60	0,52	0,00	0,57	0,01	1,71	1,49	1,00	0,18	1,19	0,80	0,78	0,00	0,08	0,00
Fev	0,65	0,00	0,15	0,47	0,38	2,11	1,02	0,44	0,13	1,22	0,33	0,90	0,01	0,05	0,00
Mar	1,51	0,82	0,14	0,46	0,09	1,29	1,51	0,52	0,14	0,20	0,98	0,90	0,01	0,05	0,00
Abr	0,72	0,34	0,17	0,39	0,07	2,60	1,28	0,25	0,12	1,32	0,87	0,06	0,01	0,05	0,21
Mai	1,71	0,02	0,01	0,39	0,00	2,49	3,38	0,48	0,13	1,28	1,11	0,49	0,00	0,06	0,22
Jun	0,87	0,83	0,00	0,38	0,02	1,28	2,80	0,29	0,16	0,04	0,82	0,90	0,00	0,05	0,22
Média	0,93	0,54	0,04	0,47	0,09	1,88	1,99	0,72	0,18	1,15	0,71	0,59	0,00	0,06	0,09

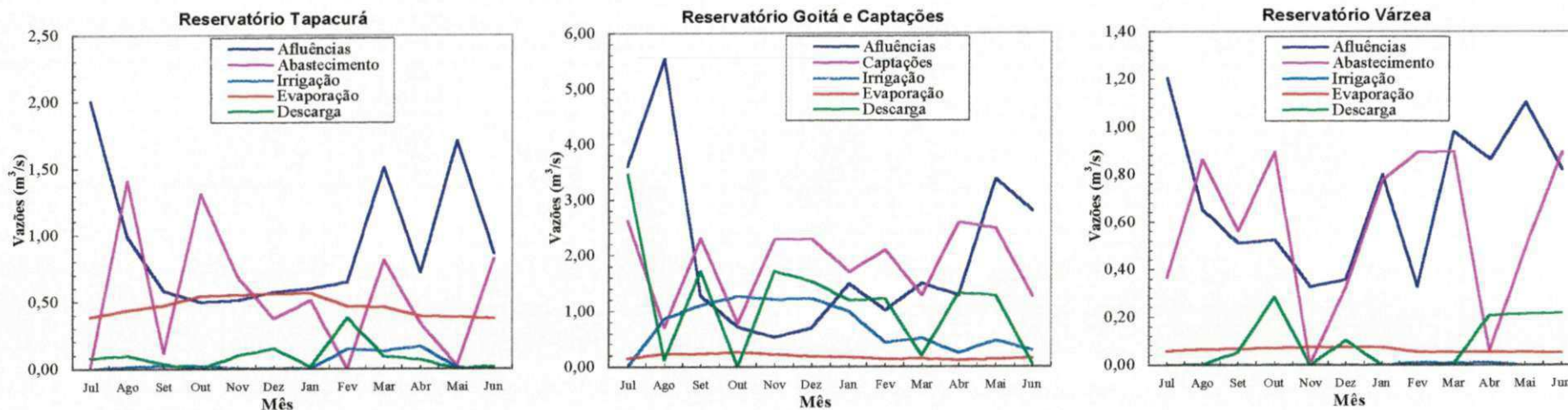


Figura 6.10 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 8.

Tabela 6.23 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 9

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações Qd (abast)	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	2,01	0,00	0,00	0,31	0,02	2,66	3,61	0,00	0,13	5,73	1,21	0,34	0,00	0,05	1,14
Ago	0,99	1,47	0,00	0,34	0,06	1,22	5,55	0,60	0,21	0,66	0,66	0,32	0,03	0,06	0,00
Set	0,59	0,20	0,00	0,37	0,24	2,44	1,29	0,74	0,21	1,71	0,51	0,36	0,06	0,06	0,00
Out	0,50	0,49	0,00	0,43	0,04	1,62	0,73	0,86	0,22	0,96	0,53	0,89	0,05	0,07	0,13
Nov	0,52	0,82	0,00	0,42	0,63	2,12	0,54	0,89	0,20	0,99	0,33	0,07	0,00	0,07	0,00
Dez	0,58	1,23	0,00	0,42	0,01	1,32	0,70	0,91	0,18	0,77	0,36	0,45	0,00	0,07	0,04
Jan	0,60	0,39	0,00	0,42	0,00	2,47	1,49	0,73	0,16	1,89	0,80	0,14	0,00	0,08	0,08
Fev	0,65	0,35	0,04	0,35	0,08	1,99	1,02	0,32	0,12	1,29	0,33	0,66	0,09	0,06	0,13
Mar	1,51	0,34	0,04	0,36	0,00	1,87	1,51	0,41	0,12	0,57	0,98	0,79	0,08	0,05	0,30
Abr	0,72	1,40	0,05	0,29	0,00	1,00	1,28	0,22	0,12	0,00	0,87	0,60	0,13	0,05	0,00
Mai	1,71	0,47	0,00	0,29	0,41	2,27	3,38	0,38	0,16	0,00	1,11	0,26	0,00	0,05	0,86
Jun	0,87	0,00	0,00	0,29	0,00	2,91	2,80	0,22	0,16	1,82	0,82	0,09	0,00	0,05	0,09
Média	0,93	0,60	0,01	0,36	0,12	1,99	1,99	0,52	0,17	1,37	0,71	0,41	0,04	0,06	0,23

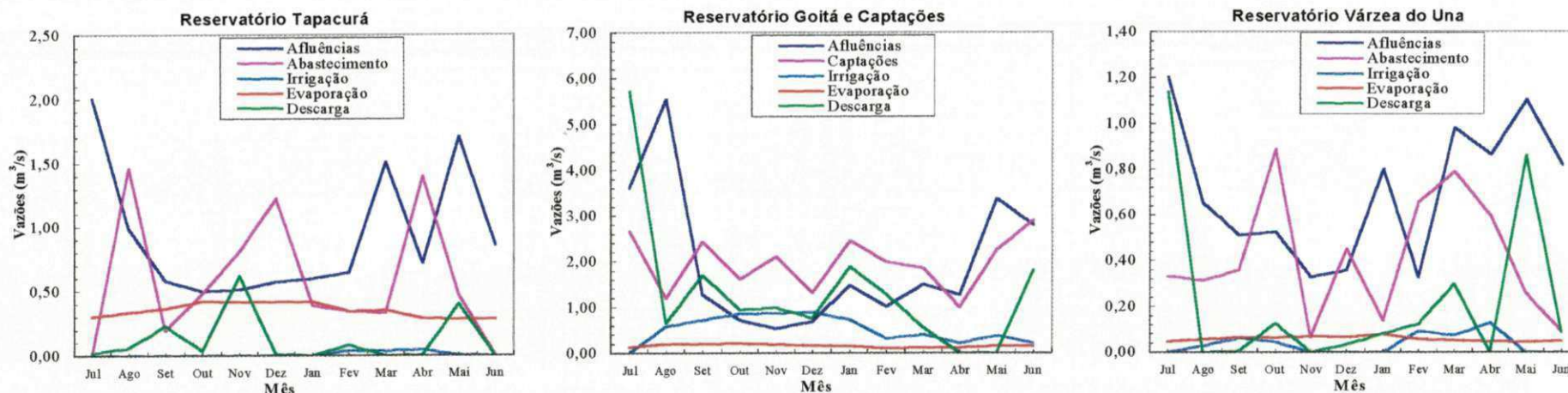


Figura 6.11 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 9.

Tabela 6.24 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 10

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qd (abast)	Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	2,01	0,00	0,00	0,39	0,01	3,00	3,61	0,00	0,16	3,43	1,21	0,00	0,00	0,05	0,00
Ago	0,99	1,44	0,00	0,44	0,01	0,93	5,55	0,92	0,23	0,42	0,66	0,64	0,02	0,06	0,00
Set	0,59	0,08	0,00	0,48	0,05	2,47	1,29	1,27	0,22	2,17	0,51	0,45	0,02	0,06	0,04
Out	0,50	0,40	0,00	0,56	0,11	2,29	0,73	1,40	0,22	1,56	0,53	0,31	0,03	0,07	0,13
Nov	0,52	1,33	0,00	0,56	0,13	1,23	0,54	1,11	0,21	0,00	0,33	0,44	0,04	0,06	0,60
Dez	0,58	0,51	0,00	0,57	0,05	2,11	0,70	1,14	0,19	1,11	0,36	0,38	0,03	0,05	0,45
Jan	0,60	0,58	0,00	0,56	0,55	1,54	1,49	0,92	0,19	0,23	0,80	0,87	0,02	0,05	0,28
Fev	0,65	0,01	0,13	0,47	0,07	2,99	1,02	0,40	0,13	2,42	0,33	0,00	0,12	0,04	0,00
Mar	1,51	1,15	0,12	0,46	0,07	1,47	1,51	0,49	0,13	0,38	0,98	0,38	0,08	0,05	0,02
Abr	0,72	0,11	0,15	0,39	0,00	2,42	1,28	0,24	0,11	1,34	0,87	0,47	0,13	0,04	0,08
Mai	1,71	0,49	0,01	0,39	0,24	1,81	3,38	0,45	0,14	0,00	1,11	0,71	0,00	0,04	0,57
Jun	0,87	0,16	0,00	0,38	0,04	1,97	2,80	0,27	0,16	0,91	0,82	0,87	0,01	0,04	0,03
Média	0,93	0,52	0,04	0,47	0,11	2,02	1,99	0,72	0,18	1,16	0,71	0,46	0,04	0,05	0,18

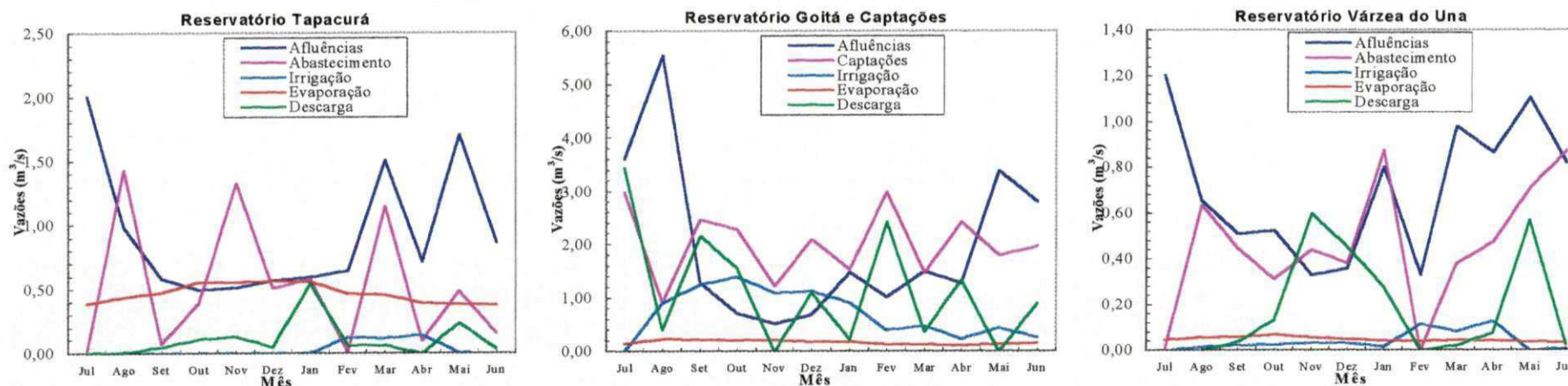


Figura 6.12 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 10.

Como o requerimento de $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento humano não foi atendido para um ano considerado seco, reduziu-se essa vazão para $3,0\text{m}^3/\text{s}$, com uma contribuição de vazão afluyente ($1,0\text{m}^3/\text{s}$) de Carpina. Verificou-se então, que, para todos os cenários secos mostrados pelas Tabelas 6.22 a 6.24 e pelas Figuras 6.10 a 6.12, a demanda de $3,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento e a vazão ecológica, nos meses de precipitações críticas, foram atendidas.

Em relação a vazão liberada para irrigação, no cenário 9, houve uma redução em comparação ao cenário 8. Neste caso, tal redução é justificada por ser um ano seco e ainda ter havido uma diminuição no volume inicial do reservatório de maior capacidade, causando diminuição no volume armazenado.

No cenário 10 a vazão liberada pelo reservatório Várzea do Una para irrigação foi maior do que a do cenário 8. A razão para este comportamento pode ser atribuída ao fato do reservatório Várzea do Una ter começado com um volume inicial menor e poder terminar com um volume menor do que no cenário 8, liberando uma vazão maior para irrigação.

A Tabela 6.25 apresenta os resultados das vazões terminais para o rio Capibaribe nos anos secos.

Tabela 6.25 – Vazões terminais (em m^3/s) para o rio Capibaribe dos anos secos

MESES	ANO SECO		
	C8	C9	C10
Julho	1,92	5,22	1,44
Agosto	0,50	0,50	0,50
Setembro	0,50	0,50	0,78
Outubro	0,50	0,51	0,51
Novembro	0,51	0,50	0,50
Dezembro	0,50	0,50	0,50
Janeiro	0,50	0,51	0,51
Fevereiro	0,50	0,50	0,50
Março	0,00	0,00	0,00
Abril	0,00	0,00	0,00
Maior	0,00	0,00	0,00
Junho	0,00	0,00	0,00

Apesar de ser um ano seco, observa-se pela tabela acima que a vazão ecológica de $0,5\text{m}^3/\text{s}$ nos meses mais críticos em que há ausência de chuvas foi atendida.

- Agricultura irrigada

A Tabela 6.26 apresenta as áreas de plantio planejadas e otimizadas por cultura e perímetro para todos os cenários de ano seco.

Tabela 6.26 – Áreas otimizadas (em ha) por cultura e perímetro para os cenários do ano seco

CULTURAS		Área máx planejada (ha)	ANO SECO		
			C8	C9	C10
PERÍMETRO 1	Banana	1600	2,9	0,0	3,2
	Tomate	400	258,4	74,6	221,8
	Melancia (entressafra)	100	33,0	0,1	1,5
	Feijão (safra)	400	0,4	0,0	4,5
	Feijão (entressafra)	600	0,6	0,2	0,0
	Milho	800	1,0	0,4	1,8
	Algodão (entressafra)	200	0,1	0,0	0,0
	Cana-de-açúcar	2000	0,1	0,0	0,1
Total			296,4	75,3	232,9
PERÍMETRO 2	Banana	1500	1500,0	1101,4	1378,4
	Tomate	400	400,0	399,3	399,9
	Melancia (entressafra)	150	149,7	2,8	149,8
	Feijão (safra)	600	0,2	0,3	5,2
	Feijão (entressafra)	800	0,0	0,8	283,5
	Milho	800	0,0	0,0	0,0
	Algodão (entressafra)	250	0,0	0,0	0,0
	Cana-de-açúcar	1500	0,0	0,0	0,0
Total			2049,9	1504,6	2216,8
PERÍMETRO 3	Banana	1300	0,2	0,0	43,8
	Tomate	300	24,6	299,2	299,6
	Melancia (entressafra)	100	0,3	99,5	0,0
	Feijão (safra)	400	5,1	0,2	0,1
	Feijão (entressafra)	500	0,0	0,0	0,1
	Milho	400	1,3	15,9	0,6
	Algodão (entressafra)	200	0,1	0,0	0,0
	Cana-de-açúcar	2500	0,2	0,1	0,0
Total			31,8	414,8	344,2

Na Tabela 6.27 estão apresentadas a totalização das áreas das culturas para os três perímetros.

Tabela 6.27 – Áreas otimizadas x áreas planejadas para os perímetros no ano seco

ANO SECO	Cenários	Bana-	Toma-	Melan-	Feijão	Feijão	Milho	Algo-	Cana-		
		na	te	cia	(safra)	(entres		dão	de-		
				(entres	(safra)	-safra)		(entres	açúcar		
				-safra)				-safra)			
ANO SECO	C8	Area planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000	
		Area otimizada/cultura (ha)	1503,1	683,0	183,0	5,7	0,6	2,3	0,3	0,2	
		% de área plantada/cultura	34,2	62,1	52,3	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	
		Área máxima planejada (ha)							12000		
		Área máxima otimizada (ha)							2378,1		
		% de área atendida							19,8		
	C9	Area planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000	
		Area otimizada/cultura (ha)	1101,4	773,2	102,4	0,5	1,0	16,3	0,0	0,1	
		% de área plantada/cultura	25,0	70,3	29,2	0,0	0,1	0,8	0,0	0,0	
		Área máxima planejada (ha)							12000		
		Área máxima otimizada (ha)							1994,7		
		% de área atendida							16,6		
C10	Area planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000		
	Area otimizada/cultura (ha)	1425,5	921,3	151,4	9,7	283,6	2,3	0,0	0,1		
	% de área plantada/cultura	32,4	83,8	43,2	0,7	14,9	0,1	0,0	0,0		
	Área máxima planejada (ha)							12000			
	Área máxima otimizada (ha)							2793,9			
	% de área atendida							23,3			

A relação da área de plantio otimizada (somatório das áreas irrigadas com culturas de safra e entressafra) e a área irrigável dos três perímetros (12000 ha) também estão apresentadas na Tabela 6.27.

O cenário 8, considerado como cenário padrão do ano seco, de acordo com a Tabela 6.27, atendeu a 19,8% da área máxima planejada para os três perímetros.

Para o cenário 9, a única alteração em relação ao cenário 8 foi a mudança no volume inicial do reservatório Tapacurá, passando de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Neste caso, a área total irrigada foi de 16,6% da área máxima planejada. Esta redução em relação ao cenário 1 se deu devido ao reservatório Tapacurá ser considerado o maior contribuinte para o abastecimento humano e ao atendimento obrigatório desta demanda.

Para o cenário 10, a única alteração em relação ao cenário 8 foi a mudança no volume inicial do reservatório Várzea do Una, passando de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Neste caso, a área total irrigada foi de 23,3% da área máxima planejada. Este aumento em relação ao cenário 8, se deu devido a ser mais fácil para o sistema garantir a sustentabilidade hídrica do reservatório quando se tem volume inicial menor, podendo, então, liberar mais água para a irrigação.

Os resultados das Tabelas 6.26 e 6.27 estão complementados na Tabela 6.28, a qual apresenta a Receita Líquida (RL) otimizada auferida pela agricultura irrigada nos três perímetros, evidenciando que o modelo aloca áreas prioritariamente para a irrigação de culturas de maior retorno financeiro.

Tabela 6.28 – Receita líquida otimizada por cultura e por perímetro do ano seco (em Reais x 1000)

CULTURAS		ANO SECO		
		C8	C9	C10
PERÍMETRO 1	Banana	40,2	0,1	44,0
	Tomate	6123,4	1767,5	5256,5
	Melancia (entressafra)	170,8	0,7	7,9
	Feijão (safra)	0,1	0,0	1,2
	Feijão (entressafra)	0,4	0,1	0,0
	Milho	1,1	0,4	1,9
	Algodão (entressafra)	0,1	0,0	0,0
	Cana-de-açúcar	0,0	0,0	0,0
PERÍMETRO 2	Banana	20521,2	15067,9	18858,4
	Tomate	9490,4	9474,8	9487,6
	Melancia (entressafra)	773,0	14,3	773,7
	Feijão (safra)	0,1	0,1	1,6
	Feijão (entressafra)	0,0	0,6	201,9
	Milho	0,0	0,0	0,0
	Algodão (entressafra)	0,0	0,0	0,0
	Cana-de-açúcar	0,0	0,0	0,0
PERÍMETRO 3	Banana	2,9	0,0	599,4
	Tomate	583,9	7099,1	7108,2
	Melancia (entressafra)	1,5	515,6	0,0
	Feijão (safra)	1,5	0,1	0,0
	Feijão (entressafra)	0,0	0,0	0,1
	Milho	1,4	17,5	0,6
	Algodão (entressafra)	0,1	0,0	0,0
	Cana-de-açúcar	-0,1	0,0	0,0
Total/perímetros (x1000)		37712,0	33958,7	42343,1
%da RL em relação ao cenário padrão			-10,0	12,3

O cenário 9 obteve uma RL total maximizada de 37.712.000 reais, o que representa um decréscimo de 10,0% em relação ao cenário 8, justificado pelo também decréscimo na área plantada.

O cenário 10 obteve uma RL total maximizada de 33.958.700 reais, o que representa um incremento de 12,3% em relação ao cenário 8. Este aumento é justificado com o aumento também na área plantada.

• Piscicultura

A Tabela 6.29 apresenta os resultados otimizados com a prática da piscicultura extensiva nos três reservatórios para os cenários médios.

Tabela 6.29 – Resultados otimizados para a piscicultura extensiva nos três reservatórios

Resultados		ANO SECO		
		C8	C9	C10
Reservatório Tapacurá	Área Mín. (km ²)	8,3	6,2	8,3
	Produção (t)	99,5	74,3	99,5
	Mão de obra(pes)	66	50	66
	Receita líq. (R\$)	116946,4	87303,2	116883,7
Reservatório Goitá	Área Mín. (km ²)	2,343	2,097	2,247
	Produção (t)	28,11	25,17	26,96
	Mão de obra(pes)	19	17	18
	Receita líq. (R\$)	33034,3	29573,5	31680,8
Reservatório Várzea do Una	Área Mín. (km ²)	1,0	1,0	0,7
	Produção (t)	11,6	11,7	8,0
	Mão de obra(pes)	8	8	5
	Receita líq. (R\$)	13680,8	13741,7	9359,6
Total da receita (R\$)		163661,5	130618,4	157924,1
Total da Mão de obra		93	75	89
Renda per capita por ano (R\$)		1759,8	1741,6	1774,4
%da Rl em relação ao cenário padrão			-20,2	-3,5

Para os cenários 9 e 10 a receita líquida anual foi menor em 20,2% e 3,5%, respectivamente, do que a alcançada no cenário 8. Estes resultados explicam-se pelo fato de ter ocorrido uma redução na área mensal mínima do espelho d'água nos reservatórios, quando comparadas ao cenário 8.

ANO CHUVOSO:

• **Comportamento dos reservatórios**

O comportamento das variações mensais de volumes armazenados nos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para os cenários dos anos chuvosos, estão apresentados nas Figura 6.13a, 6.13b e 6.13c e na Tabela 6.30 a seguir.

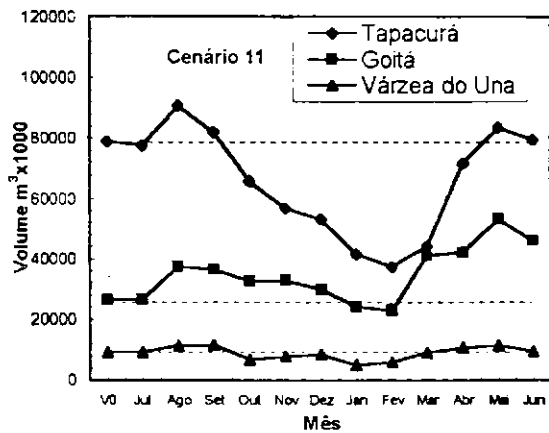


Figura 6.13a – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 11.

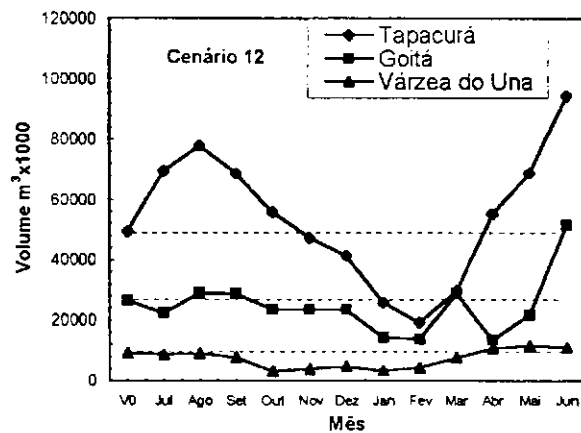


Figura 6.13b – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 12.

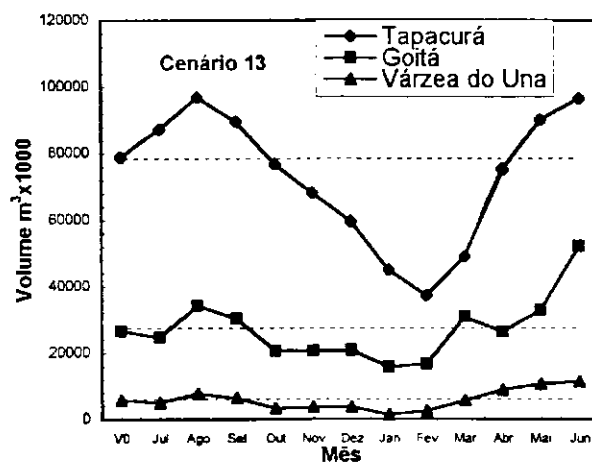


Figura 6.13c – Volumes dos reservatórios ao final de cada mês para o cenário 13.

Tabela 6.30 - Volumes mensais (em m³ x 1000) dos reservatórios para os cenários chuvosos

MESES		ANO CHUVOSO		
		C11	C12	C13
RESERVATÓRIO TAPACURÁ	Volume inicial	78960	49350	78960
	Julho	77617	69543	87406
	Agosto	90794	77863	96927
	Setembro	82013	68763	89637
	Outubro	65784	55855	76719
	Novembro	56716	47128	68169
	Dezembro	53140	41331	59465
	Janeiro	41493	25933	44985
	Fevereiro	37253	19090	37223
	Março	44082	29488	49016
	Abril	71654	55137	75311
	Maio	83643	68999	90295
	Junho	79473	94558	96585
RESERVATÓRIO GOITÁ	Volume inicial	26500	26500	26500
	Julho	26632	22259	24509
	Agosto	37360	29028	34150
	Setembro	36388	28521	30293
	Outubro	32533	23444	20498
	Novembro	32604	23567	20553
	Dezembro	29783	23429	20657
	Janeiro	24113	14359	15802
	Fevereiro	22821	13711	16747
	Março	40906	28687	30690
	Abril	42068	13482	26317
	Maio	52968	21780	32923
	Junho	46077	51579	52083
RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA	Volume inicial	9254	9254	5784
	Julho	9183	8517	4997
	Agosto	11413	9040	7606
	Setembro	11544	7600	6313
	Outubro	6743	3155	3224
	Novembro	7632	3919	3662
	Dezembro	8503	4789	3562
	Janeiro	4921	3281	1330
	Fevereiro	5921	4399	2433
	Março	9044	7588	5599
	Abril	10569	10832	8904
	Maio	11327	11507	10628
	Junho	9367	10955	11346
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _{pmáx}) do reservatório Tapacurá		54,2	76,5	60,5
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _{pmáx}) do reservatório Goitá		56,9	71,9	68,5
% de variação do volume ((V _{máx} -V _{mín})/C _{pmáx}) do reservatório Várzea do Una		57,3	71,1	86,6

A partir das Figuras 6.13a, 6.13b e 6.13c e da Tabela 6.30 é possível afirmar que a condição de preservação do volume de espera de 27 milhões de metros cúbicos (reservatório Goitá) no mês de julho, ou seja, o volume armazenado ser menor ou igual a 26 milhões de metros cúbicos, foi atendida para todos os cenários de ano chuvoso. A condição de sustentabilidade hídrica dos três reservatórios também foi atendida para todos os cenários.

A partir da Tabela 6.30 observou-se que os menores volumes em todos os reservatórios ocorre principalmente em fevereiro, coincidindo com o final do mês de menor vazão afluente.

Observou-se, também, que, mesmo o sistema tendo atendido a todas as suas finalidades, nenhum dos reservatórios atingiu o volume mínimo, colocado como restrição do modelo. O menor volume mensal do reservatório Tapacurá aconteceu no cenário 12, quando o volume inicial do Tapacurá foi reduzido de 80 para 50% da sua capacidade máxima, no mês de fevereiro com $19.090.000 \text{ m}^3$, ou seja, quase nove vezes mais do volume mínimo admitido ($2.200.000 \text{ m}^3$).

No reservatório Goitá, o menor volume aconteceu também no cenário 12, da ordem de $13.000.000 \text{ m}^3$, cerca de dezesseis vezes mais do volume mínimo admitido (810.000 m^3).

Já o reservatório Várzea do Una, no cenário 13, em janeiro, teve seu volume mínimo de $1.330.000 \text{ m}^3$, ou seja, duas vezes mais do volume mínimo admitido (671.000 m^3). Justifica-se tal volume, quando comparado ao cenário 11, porque neste cenário houve uma redução no volume inicial do Várzea do Una de 80 para 50% da sua capacidade máxima.

As Tabelas 6.31 a 6.33 mostram os valores das afluências e demandas de cada reservatório para todos os cenários chuvosos. As Figuras 6.14 a 6.16 complementam a visualização das vazões afluentes e demandadas dos três reservatórios para cada cenário estudado. A vazão liberada pelas captações Tiúma e Castelo para abastecimento estão mostradas no gráfico do reservatório Goitá.

Tabela 6.31 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 11

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações Qd (abast)	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	20,60	2,59	0,00	0,37	19,05	0,53	13,15	0,00	0,16	13,27	1,54	0,88	0,00	0,05	0,75
Ago	8,66	2,96	0,25	0,47	0,30	0,94	5,50	0,20	0,23	1,11	1,07	0,10	0,00	0,07	0,09
Set	1,98	2,95	0,87	0,48	1,23	0,68	2,06	1,55	0,25	0,73	0,82	0,37	0,14	0,08	0,23
Out	1,10	2,87	1,26	0,49	2,75	0,60	1,19	2,13	0,27	0,29	0,45	0,53	0,90	0,06	0,76
Nov	1,87	2,97	0,57	0,47	1,51	0,99	1,23	1,03	0,28	0,00	0,90	0,04	0,46	0,07	0,03
Dez	2,12	2,45	0,46	0,46	0,24	1,48	1,82	0,94	0,26	1,80	0,88	0,07	0,43	0,07	0,00
Jan	0,66	2,94	1,16	0,40	0,70	0,83	0,29	0,92	0,23	1,33	0,40	0,24	0,70	0,05	0,78
Fev	2,30	2,80	0,95	0,31	0,12	1,05	1,77	0,72	0,18	1,52	0,79	0,15	0,23	0,05	0,00
Mar	7,05	2,89	0,00	0,34	1,71	0,95	6,86	0,00	0,28	0,00	1,48	0,17	0,00	0,06	0,12
Abr	13,21	2,68	0,00	0,38	0,14	0,51	9,85	0,00	0,24	9,56	1,38	0,82	0,00	0,06	0,02
Mai	8,19	2,95	0,00	0,40	0,75	0,52	4,48	0,00	0,27	0,32	1,01	0,54	0,00	0,06	0,18
Jun	16,56	2,95	0,00	0,38	15,58	0,50	15,89	0,00	0,24	18,78	1,65	0,55	0,00	0,05	1,94
Média	7,02	2,83	0,46	0,41	3,67	0,80	5,34	0,62	0,24	4,06	1,03	0,37	0,24	0,06	0,41

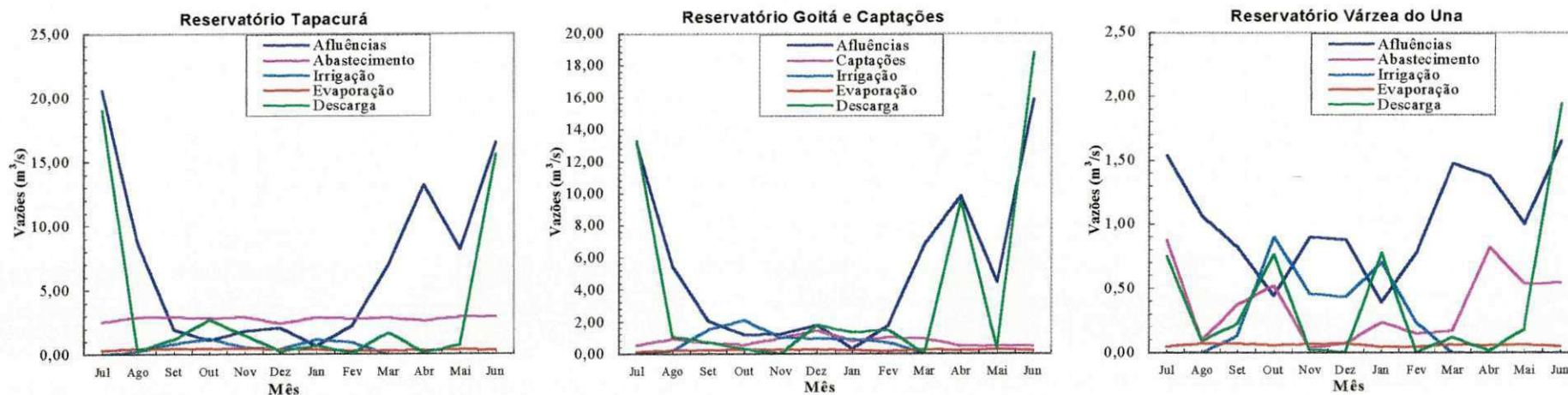


Figura 6.14 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 11.

Tabela 6.32 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 12

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações Qd (abast)	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	20,60	2,70	0,00	0,35	10,50	0,51	13,15	0,00	0,14	14,95	1,54	0,79	0,00	0,05	1,10
Ago	8,66	2,09	0,25	0,43	3,05	1,28	5,50	0,20	0,19	2,64	1,07	0,63	0,00	0,06	0,22
Set	1,98	3,00	0,89	0,43	1,31	0,56	2,06	1,55	0,21	0,57	0,82	0,44	0,14	0,05	0,76
Out	1,10	2,76	1,28	0,45	1,61	0,53	1,19	2,14	0,21	0,80	0,45	0,71	0,90	0,03	0,49
Nov	1,87	2,95	0,57	0,42	1,43	0,91	1,23	1,03	0,22	0,01	0,90	0,14	0,43	0,04	0,02
Dez	2,12	2,96	0,46	0,40	0,63	0,92	1,82	0,94	0,22	0,79	0,88	0,12	0,40	0,05	0,00
Jan	0,66	2,89	1,16	0,30	2,24	1,06	0,29	0,93	0,15	2,68	0,40	0,05	0,65	0,04	0,24
Fev	2,30	2,98	0,95	0,21	0,96	0,93	1,77	0,59	0,12	1,41	0,79	0,10	0,23	0,04	0,02
Mar	7,05	2,97	0,00	0,27	0,19	1,00	6,86	0,00	0,21	1,16	1,48	0,03	0,00	0,06	0,23
Abr	13,21	2,98	0,00	0,33	0,53	0,86	9,85	0,00	0,10	15,84	1,38	0,17	0,00	0,06	0,00
Mai	8,19	2,96	0,00	0,36	0,01	0,89	4,48	0,00	0,14	1,30	1,01	0,15	0,00	0,06	0,60
Jun	16,56	2,90	0,00	0,42	4,12	0,71	15,89	0,00	0,26	4,51	1,65	0,39	0,00	0,06	1,53
Média	7,02	2,84	0,46	0,36	2,21	0,85	5,34	0,62	0,18	3,89	1,03	0,31	0,23	0,05	0,43

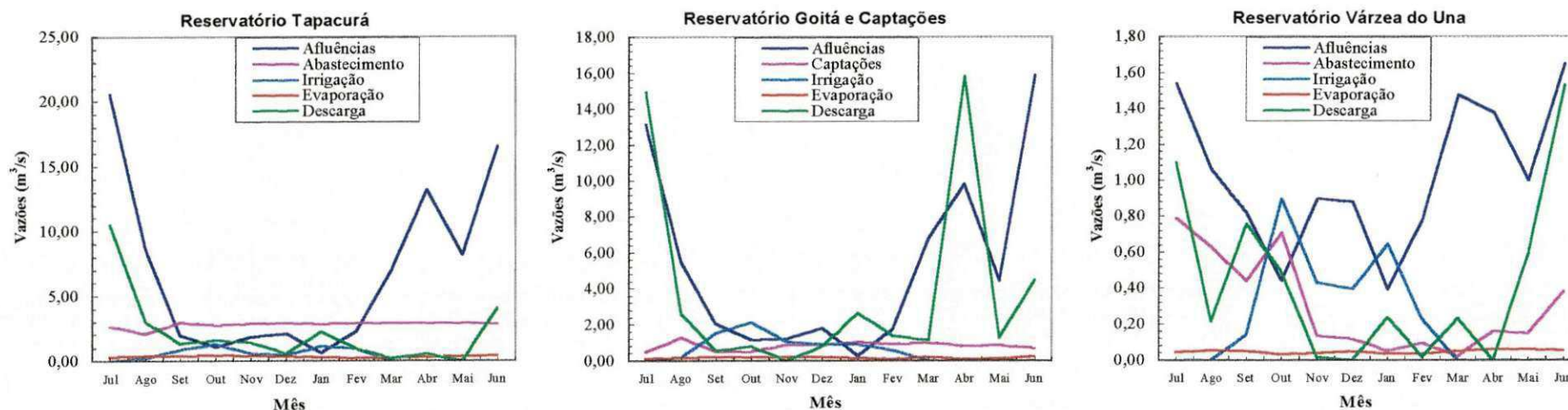


Figura 6.15 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 12.

Tabela 6.33 – Afluências e demandas (em m³/s) de cada reservatório para o cenário 13

MESES	RESERVATÓRIO TAPACURÁ					Captações Qd (abast)	RESERVATÓRIO GOITÁ				RESERVATÓRIO VÁRZEA DO UNA				
	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)		Qa	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)	Qa	Qd (abast)	Qd(irri)	Qd(evap)	Qd(desc)
Jul	20,60	1,84	0,00	0,40	16,02	1,32	13,15	0,00	0,15	14,09	1,54	0,84	0,00	0,03	1,05
Ago	8,66	3,00	0,25	0,48	1,67	1,00	5,50	0,20	0,22	1,53	1,07	0,00	0,00	0,05	0,05
Set	1,98	2,44	0,83	0,50	0,58	0,86	2,06	1,54	0,22	1,85	0,82	0,71	0,14	0,05	0,45
Out	1,10	2,42	1,22	0,54	1,94	1,22	1,19	2,13	0,19	2,62	0,45	0,36	0,90	0,04	0,32
Nov	1,87	2,74	0,57	0,52	1,51	1,02	1,23	1,02	0,20	0,06	0,90	0,24	0,46	0,04	0,01
Dez	2,12	2,08	0,46	0,49	2,55	1,45	1,82	0,93	0,20	0,72	0,88	0,47	0,43	0,04	0,00
Jan	0,66	3,00	1,16	0,42	1,70	0,86	0,29	0,92	0,17	1,08	0,40	0,14	0,69	0,02	0,39
Fev	2,30	2,98	0,91	0,31	1,35	0,99	1,77	0,72	0,14	0,67	0,79	0,03	0,24	0,03	0,08
Mar	7,05	2,53	0,00	0,36	0,15	1,31	6,86	0,00	0,22	1,57	1,48	0,17	0,00	0,04	0,10
Abr	13,21	2,94	0,00	0,40	0,38	0,95	9,85	0,00	0,17	11,67	1,38	0,11	0,00	0,05	0,03
Mai	8,19	2,31	0,00	0,42	0,25	1,38	4,48	0,00	0,19	1,97	1,01	0,31	0,00	0,06	0,03
Jun	16,56	2,06	0,00	0,43	12,45	1,41	15,89	0,00	0,26	8,66	1,65	0,54	0,00	0,06	0,91
Média	7,02	2,53	0,45	0,44	3,38	1,15	5,34	0,62	0,19	3,87	1,03	0,33	0,24	0,04	0,29

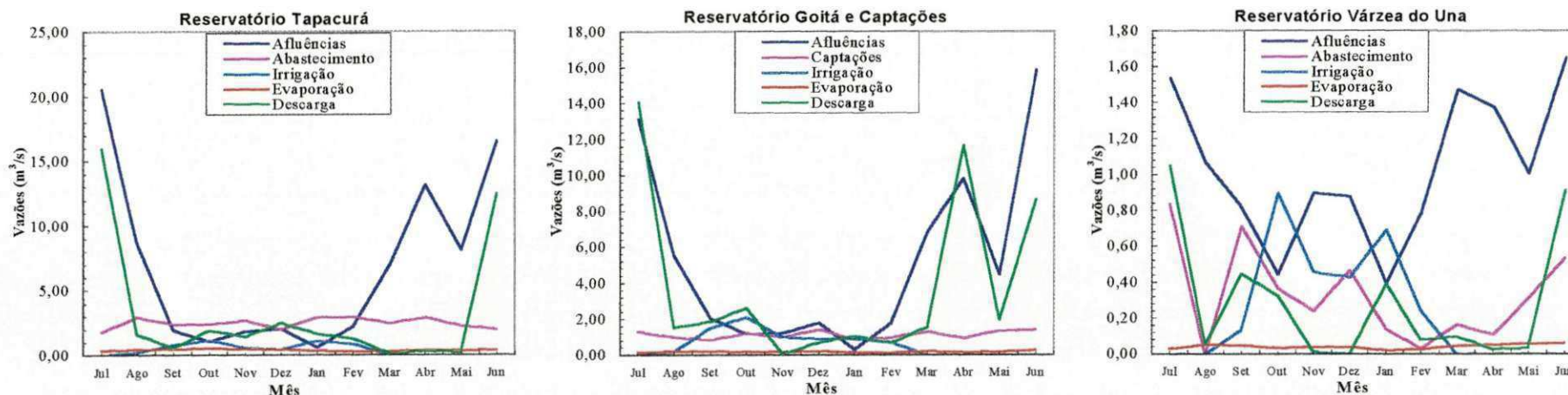


Figura 6.16 – Vazões afluentes e vazões de demandas dos reservatórios Tapacurá, Goitá e Várzea do Una para o cenário 13.

Verificou-se que, para todos os cenários chuvosos mostrados pelas Tabelas 6.31 a 6.33 e pelas Figuras 6.14 a 6.16, a demanda de $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento foi atendida. O excedente da água foi destinado para a vazão ecológica e para a agricultura irrigada. As altas vazões de descarga dos reservatórios não excedem o máximo permitido pelas calhas dos rios para que não ocorram inundações.

As vazões médias liberadas para abastecimento e irrigação não tiveram muitas alterações nos cenários, já que se trata de um ano chuvoso.

A Tabela 6.34 apresenta os resultados das vazões terminais para o rio Capibaribe nos anos chuvosos. Como se trata de ano chuvoso a vazão ecológica de $0,50\text{m}^3/\text{s}$ foi facilmente atendida para todos os meses.

Tabela 6.34 – Vazões terminais (em m^3/s) para o rio Capibaribe dos anos chuvosos

MESES	ANO CHUVOSO		
	C1	C2	C3
Julho	32,54	26,05	29,84
Agosto	0,56	4,63	2,25
Setembro	1,50	2,08	2,64
Outubro	3,23	2,37	3,67
Novembro	0,55	0,55	0,58
Dezembro	0,57	0,50	1,83
Janeiro	1,98	4,09	2,31
Fevereiro	0,59	1,46	1,10
Março	0,88	0,58	0,52
Abril	9,21	15,51	11,13
Mai	0,75	1,02	0,87
Junho	35,80	9,46	20,62

- Agricultura irrigada

A Tabela 6.35 apresenta as áreas de plantio planejadas e otimizadas por cultura e perímetro para todos os cenários do ano chuvoso.

Tabela 6.35 – Áreas otimizadas (em ha) por cultura e perímetro para os cenários do ano chuvoso

CULTURAS		Área máx planejada (ha)	ANO CHUVOSO		
			C11	C12	C13
PERÍMETRO 1	Banana	1600	1599,9	1599,8	1600,0
	Tomate	400	399,9	400,0	399,8
	Melancia (entressafra)	100	99,9	99,2	99,7
	Feijão (safra)	400	395,4	398,7	394,3
	Feijão (entressafra)	600	111,6	139,1	36,8
	Milho	800	795,8	799,9	88,5
	Algodão (entressafra)	200	199,9	198,8	199,6
	Cana-de-açúcar	2000	2,8	4,4	5,3
Total			3605,2	3639,8	2823,8
PERÍMETRO 2	Banana	1500	1499,9	1499,9	1500,0
	Tomate	400	399,9	400,0	399,9
	Melancia (entressafra)	150	149,9	150,0	149,3
	Feijão (safra)	600	585,8	3,1	600,0
	Feijão (entressafra)	800	790,8	791,6	795,1
	Milho	800	787,3	799,3	797,7
	Algodão (entressafra)	250	249,2	248,3	246,6
	Cana-de-açúcar	1500	11,7	17,7	4,3
Total			4474,5	3909,7	4492,7
PERÍMETRO 3	Banana	1300	1096,6	1004,0	1079,0
	Tomate	300	299,9	299,9	299,8
	Melancia (entressafra)	100	86,1	97,5	98,5
	Feijão (safra)	400	148,9	399,1	399,9
	Feijão (entressafra)	500	3,2	58,0	0,0
	Milho	400	398,7	398,9	399,7
	Algodão (entressafra)	200	65,7	83,7	72,1
	Cana-de-açúcar	2500	2,3	6,7	4,5
Total			2101,4	2347,9	2353,4

A partir da Tabela 6.35, as áreas das culturas para os três perímetros são totalizadas e apresentadas na Tabela 6.36.

Tabela 6.36 – Áreas otimizadas x áreas planejadas para os perímetros no ano chuvoso

ANO CHUVOSO	Cenários		Bana- na	Toma- te	Melan- cia (entres -safra)	Feijão (safra)	Feijão (entres -safra)	Milho	Algo- dão (entres -safra)	Cana- de- açúcar
	C11	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000
		Área otimizada/cultura (ha)	4196,4	1099,8	335,9	1130,1	905,6	1981,7	514,8	16,7
		% de área plantada/cultura	95,4	100,0	96,0	80,7	47,7	99,1	79,2	0,3
		Área máxima planejada (ha)							12000	
	Área máxima otimizada (ha)							10181,0		
	% de área atendida							84,8		
	C12	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000
		Área otimizada/cultura (ha)	4103,7	1099,9	346,6	800,9	988,6	1998,0	530,8	28,8
		% de área plantada/cultura	93,3	100,0	99,0	57,2	52,0	99,9	81,7	0,5
Área máxima planejada (ha)							12000			
Área máxima otimizada (ha)							9897,3			
% de área atendida							82,5			
C13	Área planejada/cultura (ha)	4400	1100	350	1400	1900	2000	650	6000	
	Área otimizada/cultura (ha)	4178,9	1099,5	347,4	1394,1	831,9	1285,9	518,2	14,1	
	% de área plantada/cultura	95,0	100,0	99,3	99,6	43,8	64,3	79,7	0,2	
	Área máxima planejada (ha)							12000		
Área máxima otimizada (ha)							9670,0			
% de área atendida							80,6			

A relação da área de plantio otimizada (somatório das áreas irrigadas com culturas de safra e entressafra) e a área irrigável dos três perímetros (12000 ha) também estão apresentadas na Tabela 6.36.

O cenário 11, considerado como cenário padrão do ano chuvoso, de acordo com a Tabela 6.36, atendeu a 84,8% da área máxima planejada para os três perímetros.

Para o cenário 12, a única alteração em relação ao cenário 11 foi a mudança no volume inicial do reservatório Tapacurá, passando de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Neste caso, a área total irrigada foi de 82,5% da área máxima planejada. Esta redução em relação ao cenário 11, se deu devido a redução na área plantada do feijão safra no perímetro 2 (Goitá), já que nos meses de fevereiro, março e abril, meses nos quais se planta o feijão, os volumes do reservatório Goitá sofreram uma redução bastante acentuada no cenário 12 em relação ao cenário 11.

Para o cenário 13, a única alteração em relação ao cenário 11 foi a mudança no volume inicial do reservatório Várzea do Una, passando de 80 para 50% da sua capacidade máxima. Neste caso, a área total irrigada foi de 80,6% da área máxima planejada. Esta redução em relação ao cenário 11, se deu devido a diminuição de área plantada da cultura do milho no perímetro 1 (Tapacurá). Como a plantação do milho começa no mês de

fevereiro, observa-se que, neste mesmo mês, o reservatório Tapacurá priorizou a liberação de água para abastecimento humano, reduzindo assim a área de plantio desta cultura.

Complementando os resultados das Tabelas 6.35 e 6.36, a Tabela 6.37 apresenta a Receita Líquida (RL) otimizada auferida pela agricultura irrigada nos três perímetros, evidenciando que o modelo aloca áreas prioritariamente para a irrigação de culturas de maior retorno financeiro.

Tabela 6.37 – Receita líquida otimizada por cultura e por perímetro do ano chuvoso (em Reais x 1000)

CULTURAS		ANO CHUVOSO		
		C11	C12	C13
PERÍMETRO 1	Banana	21928,5	21927,8	21930,0
	Tomate	9497,9	9499,0	9496,0
	Melancia (entressafra)	519,6	515,7	518,2
	Feijão (safra)	125,8	126,8	125,4
	Feijão (entressafra)	83,3	103,8	27,5
	Milho	891,8	896,5	99,2
	Algodão (entressafra)	222,5	221,3	222,1
	Cana-de-açúcar	-1,5	-2,4	-2,9
PERÍMETRO 2	Banana	20547,3	20547,2	20548,7
	Tomate	9500,2	9501,1	9498,8
	Melancia (entressafra)	777,9	778,0	774,6
	Feijão (safra)	188,1	1,0	192,7
	Feijão (entressafra)	581,7	582,3	584,9
	Milho	883,9	897,3	895,6
	Algodão (entressafra)	273,1	272,0	270,1
	Cana-de-açúcar	-6,4	-9,7	-2,3
PERÍMETRO 3	Banana	15037,1	13767,5	14794,6
	Tomate	7125,0	7125,1	7122,8
	Melancia (entressafra)	448,4	507,9	513,0
	Feijão (safra)	48,9	131,1	131,4
	Feijão (entressafra)	2,4	43,9	0,0
	Milho	447,6	447,8	448,8
	Algodão (entressafra)	73,5	93,6	80,6
	Cana-de-açúcar	-1,2	-3,6	-2,4
Total/perímetros (x1000)		89195,5	87971,2	88267,2
%da RL em relação ao cenário padrão			-1,4	-1,0

O cenário 12 obteve uma RL total maximizada de 87.971.200 reais, o que representa uma redução de 1,4% em relação ao cenário 11, justificado pelo decréscimo na área plantada.

O cenário 13 obteve uma RL total maximizada de 88.267.200 reais, o que representa uma redução de 1,0% em relação ao cenário 11, justificado pelo decréscimo na área plantada.

• Piscicultura

Os resultados otimizados com a prática da piscicultura extensiva nos três reservatórios para os cenários médios estão apresentados na Tabela 6.38.

Tabela 6.38 – Resultados otimizados para a piscicultura extensiva nos três reservatórios

Resultados		ANO CHUVOSO		
		C11	C12	C13
Reservatório Tapacurá	Área Mín. (km ²)	5,6	3,7	5,6
	Produção (t)	66,8	44,6	66,8
	Mão de obra(pes)	45	30	45
	Receita líq. (R\$)	78500,2	52392,5	78461,8
Reservatório Goitá	Área Mín. (km ²)	3,229	2,152	2,436
	Produção (t)	38,75	25,82	29,24
	Mão de obra(pes)	26	17	19
	Receita líq. (R\$)	45527,8	30339,7	34351,8
Reservatório Várzea do Una	Área Mín. (km ²)	0,7	0,5	0,3
	Produção (t)	8,8	6,6	3,9
	Mão de obra(pes)	6	4	3
	Receita líq. (R\$)	10349,8	7710,2	4541,8
Total da receita (R\$)		134377,8	90442,4	117355,3
Total da Mão de obra		77	51	67
Renda per capita por ano (R\$)		1745,2	1773,4	1751,6
%da Rl em relação ao cenário padrão			-32,7	-12,7

Para o ano chuvoso os resultados da receita líquida obtida com a piscicultura são:

Os cenários 12 e 13 obtiveram, respectivamente, receita líquida anual menor em 32,7% e 12,7% do que a alcançada no cenário 11. Estes resultados explicam-se pelo fato de que a geração da receita com a piscicultura é diretamente proporcional a área mínima da

superfície líquida do reservatório. A receita gerada com a piscicultura em anos chuvosos é menor do que em anos secos, conforme Tabelas 6.29 e Tabela 6.38. Tal fato se explica porque o uso da água disponível nos reservatórios é priorizado pelo modelo para a agricultura irrigada, atividade de maior rentabilidade.

Para finalizar, com a realização desta pesquisa, verifica-se a importância do uso de técnicas matemáticas de otimização, em especial a programação não linear, no planejamento e, até, gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, que é hoje, pela Lei 9.433, a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. O emprego desta técnica se reveste de maior importância quando esta bacia está numa região semi-árida e é constituída de multi-reservatórios destinados a múltiplos usos e objetivos, tendo, ainda, que se resguardar a sustentabilidade hídrica do sistema enquanto se maximiza benefícios e minimiza prejuízos e possíveis conflitos. Tal procedimento é, em geral, baseado num melhor aproveitamento da disponibilidade hídrica do sistema a fim de maximizar, preferencialmente, benefícios sócios-ambientais e econômicos. Os benefícios sócio-ambientais, no problema em estudo, foram a maximização da mão de obra, oriundos de atividades de agricultura irrigada e piscícola, o atendimento de demandas fixas, como parte do abastecimento da Região Metropolitana do Recife, os requerimentos ecológicos, o controle de cheia e a sustentabilidade hídrica do sistema. Os benefícios econômicos estão relacionados à receita líquida de atividades de agricultura irrigada, uso consuntivo otimizado e com a demanda variável de água, e piscícola, de uso não consuntivo.

O conceito de desenvolvimento sustentável requer a avaliação estratégica dos efeitos das decisões para que gerações futuras não sejam prejudicadas. Assim, assuntos complexos, antes restritos apenas a esferas técnicas precisam ser comunicados e difundidos, em linguagem acessível ao leigo, criando a consciência ecológica e a tendência crescente da participação pública. A participação de usuários, das administrações municipais e da sociedade civil passa a ser organizada pelos chamados Comitês de Bacia. Pelo exposto acima, observa-se uma gradual mudança dos paradigmas vigentes na sociedade atual e modelos de planejamento como o ORNAP podem contribuir na sedimentação deste processo de mudanças de paradigma.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

Os objetivos propostos neste trabalho, especificados no Capítulo 1, foram plenamente atingidos, desde os específicos aos gerais.

Procurou-se, neste trabalho, verificar a adequabilidade e aplicabilidade do ORNAP ao sistema de reservatórios em paralelo, Tapacurá, Goitá e Várzea do Una, PE, para múltiplos usos e objetivos. Verificou-se que o software permitiu fazer uma representação matemática do sistema físico onde foram contempladas as funções objetivos desejadas, maximização da receita líquida ou mão de obra, e a inclusão de restrições de comportamento físico e requerimentos de sustentabilidade hídrica, legais, ambientais, agrônômicos e operacionais. As não linearidades da representação matemática do comportamento físico do problema foram, também, levadas em consideração.

Por outro lado, os testes com diferentes cenários hidroclimáticos, variações nos volumes iniciais, exclusão de reservatório, diferentes funções objetivo e fixação das vazões de abastecimento foram muito importantes para se ter uma idéia do comportamento do sistema. A partir dos resultados obtidos é possível fornecer subsídios para um adequado planejamento da operação do sistema de múltiplos reservatórios em paralelo sujeito a usos e objetivos múltiplos e verificar a adequabilidade do software ORNAP para o gerenciamento do sistema. Em todos os cenários testados, o ORNAP mostrou-se eficaz em termos de coerência de resposta obtida com as mudanças de cenário.

Para o caso da situação hidroclimática média, a melhor resposta agrícola otimizada foi para o cenário 2, com uma receita líquida de R\$ 78,8 milhões, cujos volumes iniciais de operação dos reservatórios foram definidos para 50% da capacidade máxima de Tapacurá, 50% da capacidade máxima de Goitá e 80% da capacidade máxima de Várzea do Una. Neste caso, foram respeitadas todas as restrições impostas, principalmente a sustentabilidade hídrica dos reservatórios. Ficou garantida, também, a vazão de $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento e o volume de espera de $27.000.000\text{ m}^3$ no mês de julho para o reservatório Goitá.

Na situação hidroclimática seca, a vazão para abastecimento foi garantida para $3,0\text{m}^3/\text{s}$, recebendo ainda uma vazão de Carpina de $1,0\text{ m}^3/\text{s}$ e aumentando a capacidade de bombeamento das captações de Tiúma e Castelo de $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ para $3,0\text{ m}^3/\text{s}$. A melhor resposta agrícola otimizada foi para o cenário 10, com uma receita líquida de R\$ 42,3 milhões, cujos volumes iniciais de operação dos reservatórios foram definidos para 80% da capacidade máxima de Tapacurá, 50% da capacidade máxima de Goitá e 50% da capacidade máxima de Várzea do Una. Nestes cenários o modelo também atendeu o critério da sustentabilidade hídrica dos reservatórios.

Para o caso da situação hidroclimática chuvosa, a melhor resposta agrícola otimizada foi para o cenário 11, com uma receita líquida de R\$ 89,2 milhões, cujos volumes iniciais de operação dos reservatórios foram definidos para 80% da capacidade máxima de Tapacurá, 50% da capacidade máxima de Goitá e 80% da capacidade máxima de Várzea do Una. Neste caso, foram respeitadas todas as restrições impostas, principalmente a sustentabilidade hídrica dos reservatórios e a garantia do volume de espera do reservatório Goitá no mês de julho em $27.000.000\text{ m}^3$. Ficou garantida, também, a vazão de $4,0\text{m}^3/\text{s}$ para abastecimento.

Nos cenários em que o reservatório Várzea do Una foi excluído do sistema, concluiu-se que a vazão de $4,0\text{ m}^3/\text{s}$ para abastecimento foi garantida, havendo diminuição da receita líquida em relação aos demais cenários médios.

O resultado da receita líquida do cenário 6 menor do que a obtida com o cenário 1, já era esperado, pois nesse caso a função objetivo visava a maximização da mão de obra.

Outro ponto interessante neste estudo, diz respeito ao cenário 7. Quando dos resultados obtidos, verificou-se que a receita líquida é menor do que no cenário 1. Ficou claro que a fixação das demandas para abastecimento impede que o modelo libere água para a irrigação, ao contrário do que aconteceu no cenário 1, onde essas vazões eram

otimizadas pelo modelo, liberando a água para irrigar. Neste caso, constata-se que a fixação das demandas para abastecimento interfere de forma a diminuir a receita líquida gerada com a irrigação. O sistema atualmente trabalha conforme este cenário, o que demonstra que, sem que ocorra o comprometimento das vazões de abastecimento, pode haver um incremento na receita líquida gerada pelo sistema em 28,4%.

Verificou-se, também, que o reservatório Goitá pode trabalhar com outras finalidades além do controle de cheias, como o abastecimento humano, a irrigação e a piscicultura.

7.2 Recomendações

Algumas recomendações para trabalhos futuros com o modelo ORNAP na bacia estudada são apresentadas a seguir:

- Inclusão de futuras demandas de abastecimento podem ser testada no modelo.
- Inclusão de outras regras operacionais;
- Escolha de outras culturas para serem plantadas nos perímetros, além de variações nos preços de mercado para a cultura.
- Aperfeiçoamento no processo de aquisição de dados fluviométricos.
- Testar outras variações nos volumes iniciais, ou mesmo a definição do volume inicial ótimo.
- Implementar os dados de qualidade de água no modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. R. G. S. 2000, *Operação integrada ótima do sistema hídrico Jucazinho-Carpina, para múltiplos usos – Rio Capibaribe-PE*, Campina Grande: UFPB – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado. 226p.
- ANDRADE, P. R. G. S., CURI, W. F. e CURI, R. C. 2000, ORNAP na otimização de três perímetros irrigados abastecidos por dois reservatórios conectados em série. *Anais do XXIX CONBEA*, Fortaleza, CD-ROM.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL 1999, *Atlas Hidrológico do Brasil*, Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. [Comunicação via Internet: <http://www.aneel.gov.br/cgrh/atlas/girh>].
- BANCO DO NORDESTE S/A 1997, *Manual de Orçamentos Agropecuários*, CENOP-CDE, Campina Grande - PB.
- BARBOSA, C. S. 1978, Aplicação de um modelo de programação linear à otimização da capacidade de uma represa de propósitos múltiplos segundo os enfoques determinístico e estocástico, *Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos*, nº 1, Rio de Janeiro.
- BARBOSA, P. S. F. 1997, *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*/ Organizado por Ruben La Laina Porto... [et al.], Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ Associação brasileira de Recursos Hídricos.

- BARROS, M. T. L. de e BRAGA Jr., B. P. F. 1991, Otimização Estocástica Implícita da Operação de Sistemas de Reservatórios considerando múltiplos objetivos, *Revista Brasileira de Engenharia*, nº 1, v. 9.
- BARROS, M. T. L. 1997, *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*/ Organizado por Ruben La Laina Porto... [et al.], Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ Associação brasileira de Recursos Hídricos.
- BARTH, F. T., POMPEU, C. T. et al. 1987, *Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos*, Coleção ABRH de recursos hídricos, v.1.
- BRAGA B., BARBOSA, P. S. F. e NAKAYAMA, P. T. 1998, Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, nº 3.
- BRAGA JR, B. P. F 1987, *Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos*, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 2, Porto Alegre.
- CIRILO, J. A. 1997, *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*/ Organizado por Ruben La Laina Porto... [et al.], Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ Associação brasileira de Recursos Hídricos.
- COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS DE PERNAMBUCO – CISAGRO 1990, *Barragem do Carpina*, Relatório da 1ª Etapa.
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA 2000, Recife-PE.
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE - CPRH 2000, Recife-PE.
- COSTA, J. P., CORENSTIN, B. G., COMPODÓNICO, N. M., e PEREIRA, M. V. F. 1989, Programação Estocástica de operação de sistemas hidrotérmicos, *VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Foz do Iguaçu, v.1.
- CURI, W. F., CURI, R. C. e BATISTA, A. C. 1997, Alocação ótima da água do reservatório Engenheiro Arco Verde para irrigação via Programação Não-Linear, *XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Vitória-ES.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO –DNOS, *Projeto Vale do Capibaribe*, Pernambuco, Programa Especial de Controle de Enchentes e Recuperação de Vales. Recife – PE.
- DOORENBOS, J. e KASSAM, A. H. 1994, *Efeito da Água no Rendimento das Culturas*. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Sousa, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros. Campina Grande, UFPB. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, v33.
- FAO 1988, *Irrigation Water needs*. Rome (Irrigation Water Management Training Manual 3).
- GALVÃO, C. O., RABBANI, E. R. e RIBEIRO, M. M. R. 1994, Otimização do uso da água em reservatórios no semi-árido através da Programação Dinâmica, *II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza-Ceará.
- GESTÃO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO TAPACURÁ, Relatório final, Junho de 2000, Recife - PE.
- GOBBETTI, L. E. C. e BARROS, M. T. L. de 1993, Análise multiobjetivo aplicada ao planejamento de sistemas de recursos hídricos, *X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH, Gramado, v.1.
- GOMES, H. P. 1999, *Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento*, Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB, 3ª edição. 412p.
- GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO 1998, *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco - PERH-PE*, Documento Síntese. 223p.
- HALL, W. A., BUTCHER, W. S. & ESOGBUE, A. 1968, Optimization of the Operations of a Multi-Purpose Reservoir by Dynamic Programming, *Water Resources Research*, v.4, nº 3, 471-477, june.
- LANNA, A. E. L 1986, Dimensionamento e/ou expansão da capacidade de um sistema de suprimento hídrico com técnicas de programação linear, *VII Congresso Latino-Americano sobre Métodos Computacionais para Engenharia*. São Carlos, SP.

- LINSLEY, R. K. e FRANZINI, J. B. 1978, *Engenharia de Recursos Hídricos* – tradução e Adaptação: Luiz Americo Pastorino, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo –SP.
- LOUKS, D. P., STEDINGER, J. R. & HAITH, D. A 1981, *Water resources systems planning and analysis*, New Jersey, Prentice Hall, 559p.
- MATEUS, G.R; LUNA, H. P. L. 1986; *Programação Não Linear*. Belo Horizonte, UFMG.
- MEDEIROS, Y. P. e OCCHIPINTI, A. G. 1987, Aplicação da Programação Linear Inteira 0 (zero) e 1 (um) na otimização de sistemas de recursos hídricos a múltiplos propósitos, *VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos*. ABRH, Salvador, v.1.
- MELLO Jr., A. V. e MATOS, L. N. 1999, Otimização da Operação de um Reservatório pela Programação Dinâmica em um Processo de Decisão Markoviano, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, nº 3, v.4.
- NETO, P. L. V. 2000, O caminho do desenvolvimento - *Brasília*. Governo do Estado do Rio Grande do Norte, Secretaria dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. 28p.
- OLIVEIRA, E. F. C. C. 1998, *Simulação da operação e estimativa dos benefícios sócio-econômicos do reservatório Coremas / Mãe d'água sujeito a múltiplos usos*, Campina Grande: UFPB – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado. 171p.
- OLIVEIRA, J. A. e LANNA, A. E. L. 1997, Otimização de um Sistema de Múltiplos Reservatórios Atendendo a Múltiplos Usos no Nordeste Brasileiro, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, nº2, v.2.

- PQA/PE 1997, Estudos de Consolidação e Complementação de Diagnóstico sobre a qualidade das águas, relativos à preparação do programa de investimentos nas bacias dos rios Beberibe, Capibaribe, Jaboatão e Ipojuca, Relatório nº 7 – *Disponibilidade e Situação dos Mananciais para o Abastecimento metropolitano*, Contécnica LTDA Construtora. Recife – PE.
- QUINTELA, A. C. 1981, *Hidráulica*, Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. p.310–313.
- REVELLE, C., JOERES, E., KIRBY, W. 1969, The Linear Decision Rule in Reservoir Managem. And Design 1: Developm. Of the Stochastic Model, *Water Resources Research*, v.5, nº 4, p. 767-777.
- RIBEIRO, M. M. R. 1990, *Operação de um sistema de reservatórios para usos de conservação*, Campina Grande: UFPB – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado. 171p.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS -SIRH 2000, Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Recife – PE.
- SINHA, A. K., RAO, B. V., & LALL, Upmanu 1999, Yield Model for Screening Multipurpose Reservoir Systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, v.125, nº 6, p. 325-332.
- SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste 1975. Recife – PE.
- TUCCI, C. E. M. 1998, *Hidrologia – Ciência e Aplicação* – Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ Associação brasileira de Recursos Hídricos.
- VIEIRA NETO, J. e LANNA, A. E. 1987, Aplicação da otimização matemática no dimensionamento do projeto de irrigação do Vale do Baixo Acaraú, Ceará, *II Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro.
- YEH, W. W-G. 1985, Reservoir Management and Operation Models: A State-of-the-Art Review, *Water resources Research*, v.21, nº 12, p.1797-1818.

- ZAHED, K.F. 1987, Modelos aplicados à operação de sistemas de reservatórios. Discussão sobre a utilização de modelos gerais, *Anais VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos*. ABRH, Salvador.

ANEXOS

ANEXO A

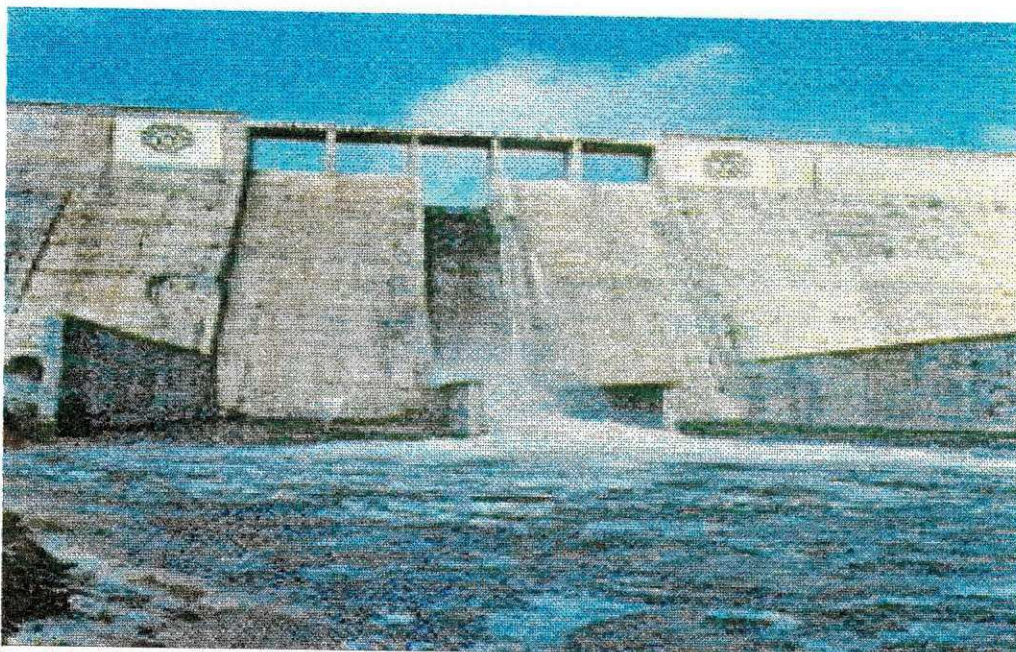


Figura A.1 - Barragem Tapacurá.
Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco, 2000.



Figura A.2 - Barragem Goitá.
Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco, 2000.

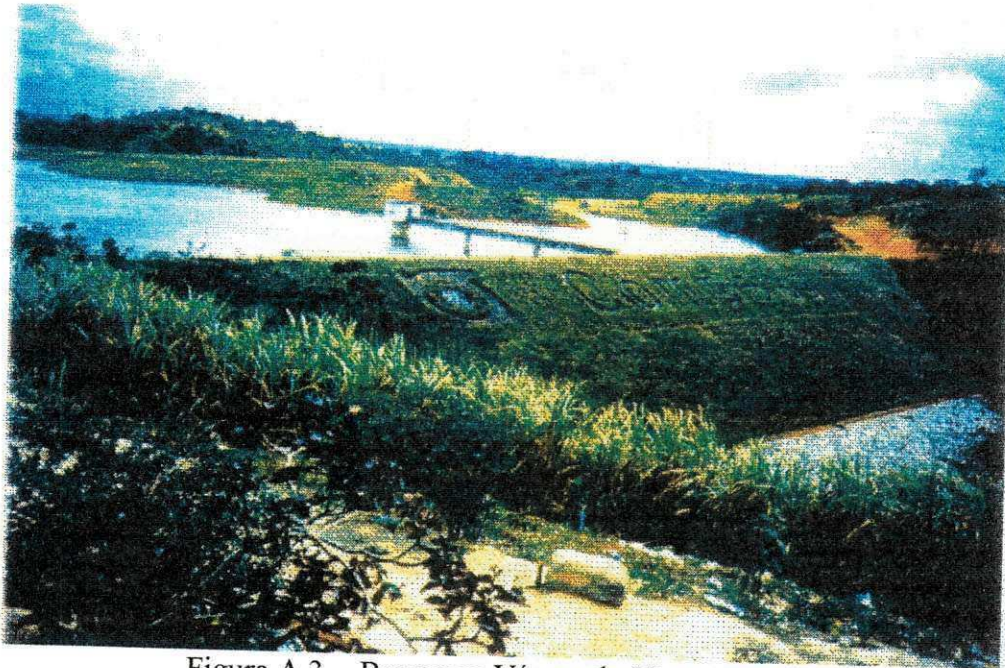


Figura A.3 - Barragem Várzea do Una.
 Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco, 2000.

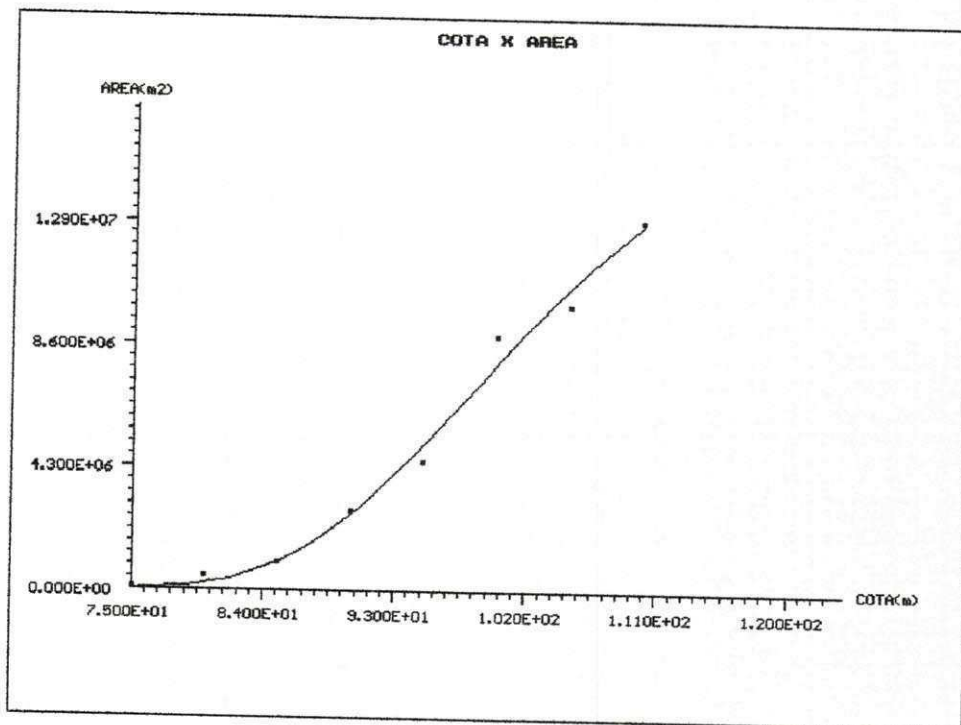


Figura A.4 – Curva Cota x Área do reservatório Tapacurá.

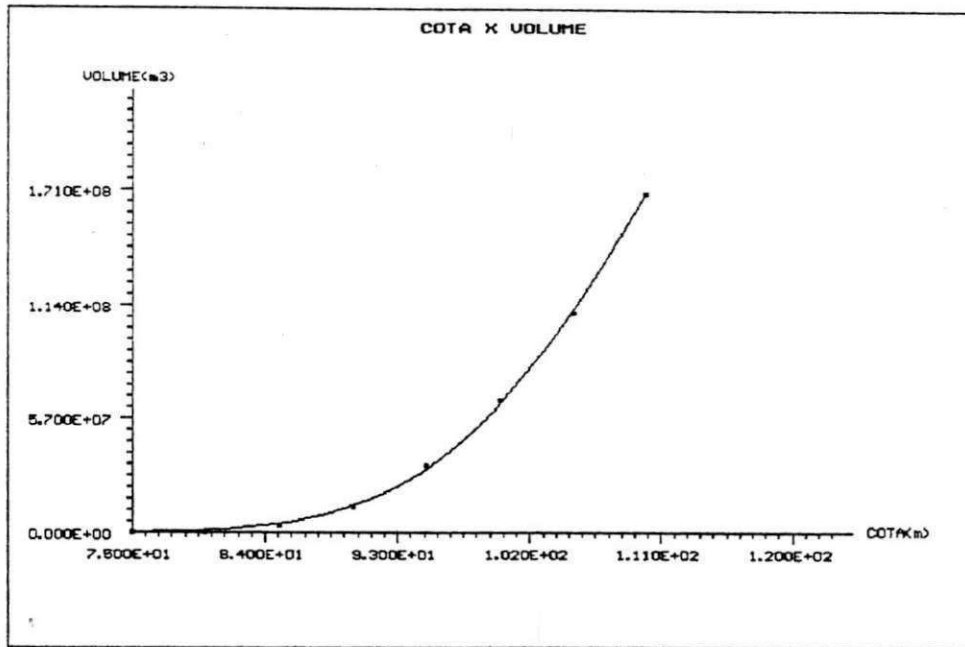


Figura A.5 – Curva Cota x Volume do reservatório Tapacurá.

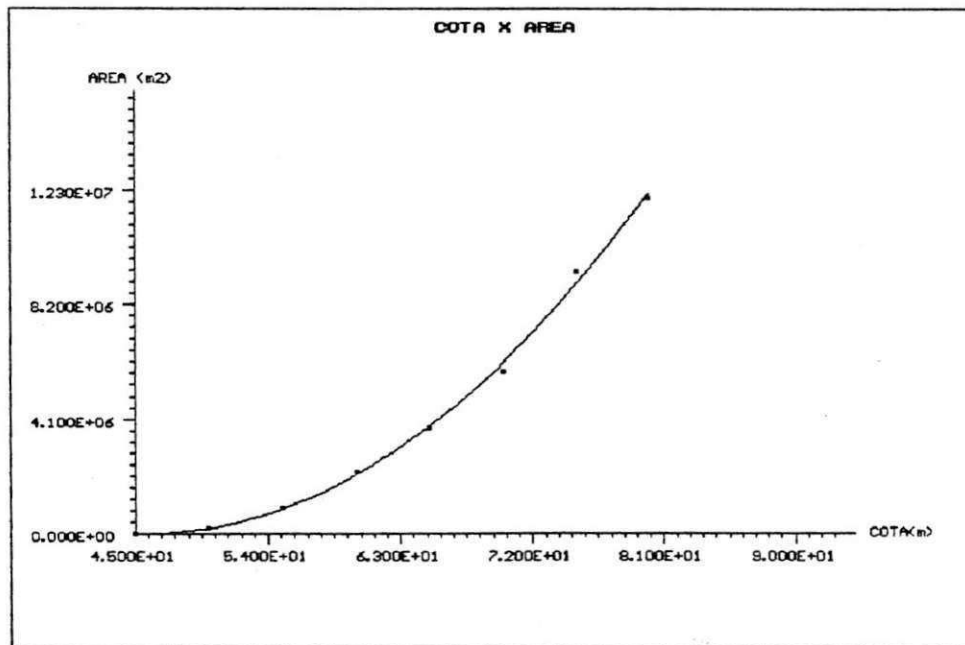


Figura A.6 – Curva Cota x Área do reservatório Goitá.

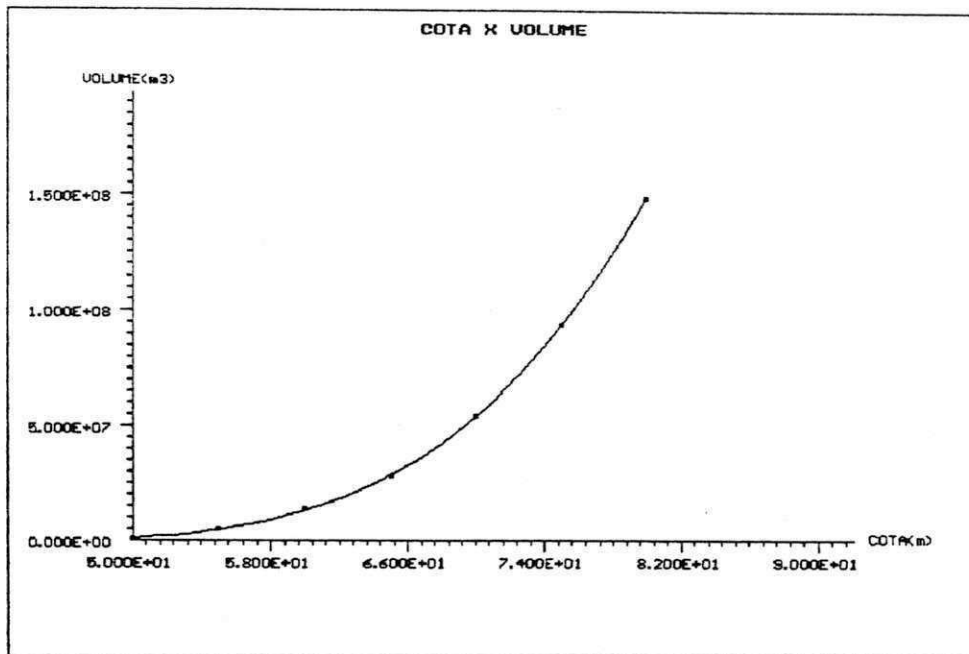


Figura A.7 – Curva Cota x Volume do reservatório Goitá.

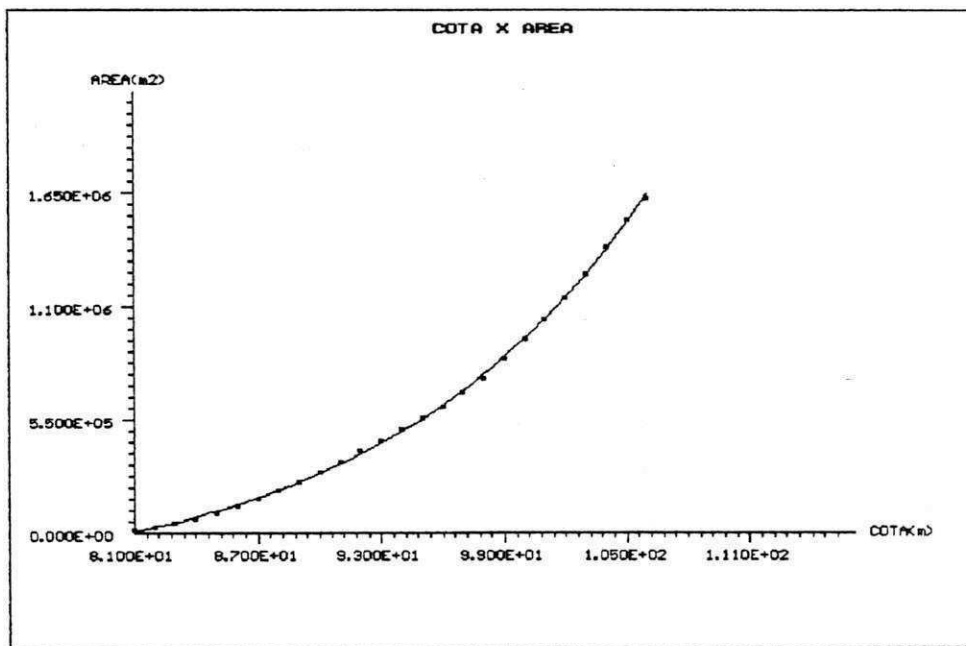


Figura A.8 – Curva Cota x Área do reservatório Várzea do Una.

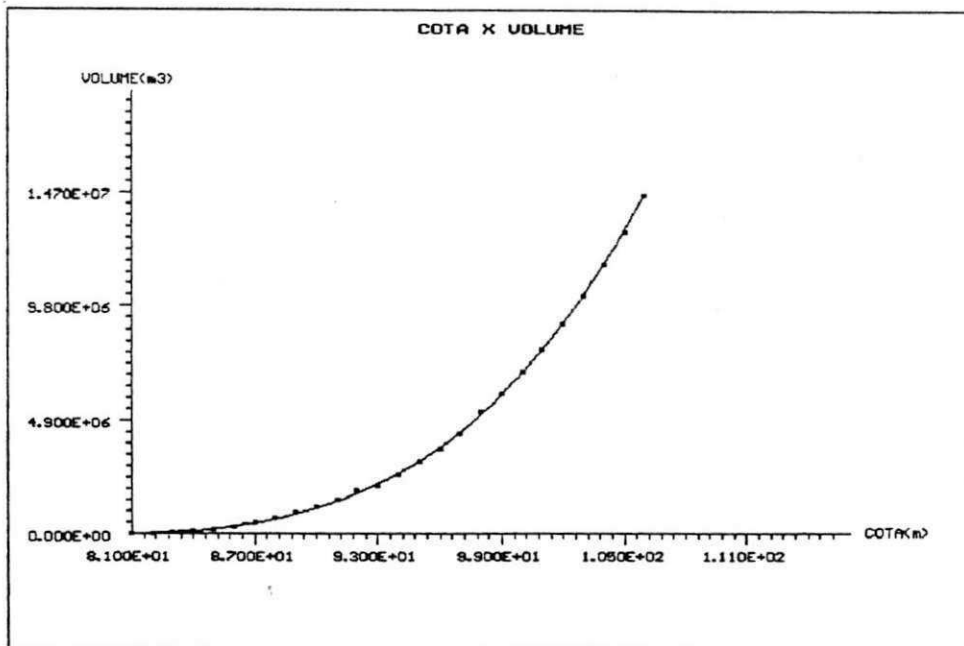


Figura A.9 – Curva Cota x Volume do reservatório Várzea do Una.

Tabela B.4 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Vitória de Santo Antão

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	12.1	20.4	109.8	73.7	101.2	59.7	112.2	39.3	25.4	16.7	12.3	21.5
1969	32.5	46.9	85.3	91.7	228.3	220.1	221.9	58.9	36.0	27.0	25.8	21.7
1970	48.6	27.7	101.4	144.3	34.7	204.5	214.8	141.5	23.9	3.6	19.1	7.9
1971	17.1	5.5	88.8	68.6	146.2	106.5	142.0	71.5	61.3	82.3	38.2	4.5
1972	45.6	2.2	47.6	120.0	140.3	155.7	94.6	82.1	73.6	29.4	10.4	7.7
1973	67.7	23.2	68.5	146.4	90.8	147.5	119.3	41.6	76.1	12.1	7.4	99.7
1974	36.8	64.7	180.4	249.0	135.0	159.5	171.1	42.2	80.7	0.0	19.3	50.0
1985	34.0	122.1	303.0	161.9	195.4	242.6	306.0	148.1	46.5	23.3	31.7	22.7
1986	18.5	119.6	273.0	250.8	203.0	356.8	427.9	138.2	102.5	45.3	144.6	88.0
1987	59.3	168.5	196.1	161.0	52.9	244.3	203.1	81.8	23.1	46.3	3.8	7.7
1988	60.4	49.4	242.0	196.6	237.0	258.3	297.5	95.7	62.5	31.3	97.6	60.2
1989	72.3	36.5	97.1	288.0	240.3	261.9	338.9	99.6	50.0	74.5	97.4	177.9

Tabela B.5 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Apoti

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	55.0	35.3	74.5	38.7	0.0	55.0	101.4	40.5	0.0	0.0	0.0	100.1
1969	15.5	0.0	197.0	23.0	216.6	116.8	189.9	43.2	0.0	17.5	17.0	0.0
1970	14.5	84.4	43.2	60.0	0.0	148.3	297.6	133.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	21.4	0.0	11.2	25.2	66.0	96.0	127.5	17.8	43.8	7.3	13.5	0.0
1972	-1	7.7	37.2	-1	133.3	185.2	122.0	115.5	56.5	12.6	4.8	11.6
1973	72.5	13.1	64.9	185.9	97.8	141.2	86.9	48.3	52.7	14.4	6.1	81.3
1974	107.6	45.2	177.6	237.2	129.1	113.5	140.5	43.8	90.8	0.0	16.1	33.6
1985	42.0	88.9	296.6	244.4	116.0	158.8	203.4	81.8	10.4	7.2	14.6	29.8
1986	22.6	97.2	196.2	141.8	106.2	216.8	258.8	84.6	63.8	46.0	73.6	66.2
1987	40.4	81.6	122.4	98.8	24.6	140.2	139.8	43.2	18.4	37.0	0.0	0.0
1988	17.0	13.6	95.6	135.0	150.4	98.2	272.4	23.6	31.4	0.0	36.4	33.8
1989	63.6	29.4	64.0	183.6	182.6	98.0	192.8	89.4	23.6	30.4	36.8	60.2

Tabela B.6 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Chã de Alegria

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	48.0	42.0	98.0	85.0	131.3	50.6	147.0	40.0	11.0	0.0	0.0	0.0
1969	-1	-1	69.2	57.8	332.0	326.0	359.6	77.0	17.0	0.0	78.5	0.0
1970	-1	-1	138.4	108.0	58.8	250.4	332.0	252.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	6.2	42.5	24.2	153.4	355.0	178.0	190.7	117.8	171.7	139.1	71.1	11.4
1972	118.1	51.9	211.8	371.2	640.2	364.6	138.4	119.0	37.4	30.0	10.2	12.4
1973	52.6	14.2	94.4	341.0	120.6	332.8	161.0	107.8	89.0	13.0	15.0	100.6
1974	107.4	71.8	213.6	123.0	210.6	263.2	174.0	49.6	150.8	2.2	27.4	28.2
1985	15.6	125.8	293.9	189.0	140.6	-0.1	153.2	65.6	26.6	2.8	6.8	19.3
1986	29.2	131.4	196.0	284.0	197.2	308.0	291.2	128.2	63.8	6.2	125.4	123.8
1987	71.2	-0.1	119.0	173.0	51.8	143.4	147.4	32.0	4.6	26.4	0.0	0.0
1988	46.2	39.0	149.2	206.0	129.5	160.2	288.4	25.4	16.6	2.2	35.4	7.6
1989	55.2	5.4	59.2	315.2	290.4	266.8	384.4	105.4	13.4	15.6	65.0	30.2

Tabela B.7 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Bela Rosa

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	85.8	23.4	128.2	40.1	134.2	14.3	107.7	90.0	7.4	15.2	0.0	43.0
1969	51.4	25.0	56.4	87.0	414.9	316.8	285.8	87.4	32.4	9.2	21.2	0.0
1970	0.0	16.4	12.0	149.1	75.4	247.0	280.4	258.6	-1	-1	-1	-1
1971	10.2	15.4	62.1	104.4	322.9	152.6	163.2	70.8	97.4	93.2	93.2	0.0
1972	-1	15.0	125.2	233.0	249.6	211.8	139.4	83.9	84.8	18.2	0.0	61.5
1973	66.1	32.6	71.3	534.0	177.2	307.0	161.2	98.4	135.6	16.6	29.8	69.3
1974	47.3	57.7	310.1	115.1	443.7	252.3	262.4	98.2	150.0	236.8	42.5	54.4
1985	67.2	125.0	292.8	304.6	342.4	276.4	649.4	-0.1	142.6	32.0	62.8	172.8
1986	142.0	151.2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	313.6	101.0	422.0	383.2
1987	215.8	286.8	342.2	349.2	93.2	361.2	350.2	129.4	61.2	104.6	5.2	2.4
1988	136.7	38.4	491.6	30.5	222.0	242.1	390.9	63.3	90.0	46.6	117.0	98.3
1989	70.9	51.7	82.8	287.7	72.2	414.7	397.6	284.7	57.4	50.6	86.1	179.6

Tabela B.8 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Nossa Senhora da Luz

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	198.4	83.2	158.0	165.0	168.0	102.0	206.0	43.0	23.0	28.0	15.0	57.0
1969	77.0	56.0	129.0	152.0	-1	-1	-1	-1	60.0	0.0	33.0	29.0
1970	41.0	93.0	207.0	432.0	120.0	250.0	457.0	174.0	40.0	30.0	25.0	1.2
1971	46.7	31.3	64.5	81.2	274.7	73.5	207.3	103.5	72.0	104.0	3.5	0.0
1972	0.0	15.5	146.4	256.0	271.0	238.0	176.0	230.2	86.4	136.0	45.0	53.6
1973	91.0	78.6	120.2	506.2	206.3	339.0	176.0	131.5	173.7	30.5	33.6	48.8
1974	153.0	54.0	254.0	138.3	374.6	238.8	162.2	80.8	142.4	9.8	33.0	61.8
1985	37.2	86.8	312.0	198.6	229.2	213.6	493.4	68.4	97.9	9.6	18.6	38.6
1986	95.4	161.6	273.3	362.0	232.6	684.8	304.4	248.2	177.2	57.8	195.9	186.8
1987	56.2	136.6	192.8	289.8	105.4	302.3	343.0	123.5	42.2	73.0	3.1	3.0
1988	34.2	47.0	229.0	277.8	183.0	271.6	370.5	87.7	59.3	23.3	57.2	43.0
1989	124.3	17.3	57.6	288.4	218.2	306.6	417.0	235.1	22.0	41.1	56.9	116.5

Tabela B.9 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Bengalas

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	20.5	18.2	51.7	58.9	30.4	10.1	64.8	12.1	0.0	0.0	0.0	51.2
1969	85.9	16.3	73.6	30.6	112.6	155.7	159.2	28.0	0.0	7.3	7.4	5.1
1970	17.4	29.7	92.5	63.2	18.5	138.3	183.7	80.5	18.5	3.1	8.6	23.5
1971	12.6	0.0	0.6	68.2	103.5	55.0	125.8	51.9	9.3	54.0	12.8	0.0
1972	36.5	0.0	8.4	47.0	102.1	117.4	19.6	68.5	5.2	0.0	0.0	0.0
1973	22.1	12.5	76.6	89.7	51.2	106.4	30.5	32.9	8.3	6.4	31.6	29.6
1974	25.5	10.3	48.3	200.8	112.3	26.5	59.4	14.6	70.9	0.0	26.0	1.6
1985	7.3	139.4	220.1	222.0	75.8	80.3	170.5	78.7	-1	0.0	6.2	0.0
1986	25.5	53.8	168.8	92.8	73.3	83.4	-1	-1	-1	-1	47.0	-1
1987	-1	18.2	77.5	112.4	4.1	120.2	115.5	14.1	6.1	25.5	-0.1	0.0
1988	0.0	25.1	178.5	108.9	95.1	93.1	160.5	22.3	-1	-0.1	14.3	-1
1989	-1	0.0	10.1	137.0	67.0	60.9	108.3	18.2	3.0	25.4	-1	-1

Tabela B.10 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Glória do Goitá

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	190.0	40.5	125.4	36.3	92.0	27.5	37.6	27.6	11.6	10.8	4.6	13.0
1969	-1	-1	93.9	52.9	280.9	168.1	214.9	42.0	14.0	18.0	7.0	-1
1970	24.0	53.0	156.2	192.4	51.3	171.5	290.5	191.9	20.0	0.0	16.0	0.0
1971	31.7	1.2	35.2	71.2	250.6	88.9	133.7	79.2	72.5	47.1	26.1	1.3
1972	28.4	11.4	73.0	162.9	169.4	225.3	105.6	194.8	77.6	26.4	15.0	16.4
1973	39.6	13.2	86.4	251.4	42.8	169.2	102.0	51.6	96.8	11.2	11.0	34.0
1974	91.2	93.0	159.8	171.4	151.8	145.0	184.6	27.0	93.0	2.0	27.0	42.4
1985	32.4	193.1	275.4	154.8	128.1	142.8	-1	79.8	-1	11.5	20.2	29.4
1986	32.6	123.8	181.3	218.8	160.0	241.2	235.3	112.2	61.0	37.6	109.4	103.1
1987	33.0	117.5	189.0	180.0	62.0	133.6	127.1	52.9	32.5	35.1	3.7	1.6
1988	13.2	19.2	138.4	133.0	209.8	171.2	305.2	69.7	24.0	17.6	30.2	42.1
1989	53.3	13.1	47.3	218.7	175.0	192.4	255.0	149.2	68.0	44.0	34.7	104.1

Tabela B.11 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Mussurepe

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	307.8	84.4	195.2	127.2	174.4	80.5	183.5	33.3	25.1	12.8	12.9	16.7
1969	58.3	38.8	98.6	105.6	353.6	265.1	287.0	176.0	36.6	20.1	23.8	9.7
1970	57.8	87.6	121.4	273.1	87.0	173.7	316.6	354.3	32.4	7.1	13.8	10.1
1971	32.6	67.7	61.5	41.7	270.2	116.6	206.5	88.9	122.5	81.0	34.3	14.1
1972	32.2	26.7	109.5	174.1	216.4	203.1	131.5	211.0	123.2	31.5	10.0	21.8
1973	52.4	64.2	76.6	342.3	142.7	311.8	178.0	109.5	112.8	10.9	23.9	41.8
1974	71.0	61.8	185.5	75.0	255.1	190.7	188.8	106.1	95.3	5.0	27.0	33.8
1985	31.1	116.3	210.3	222.8	238.7	205.2	392.2	119.0	93.9	14.8	30.0	46.6
1986	39.2	122.2	323.9	248.2	288.6	322.3	286.4	205.6	103.6	38.6	114.0	66.0
1987	83.2	111.4	255.2	188.4	60.6	223.0	234.0	80.4	47.8	38.6	1.8	0.0
1988	110.4	34.9	-1	-1	-1	-1	-1	97.9	43.9	13.9	29.6	22.1
1989	111.3	17.6	53.7	262.6	157.3	314.4	361.9	161.9	64.2	29.7	61.0	106.5

Tabela B.12 - Dados observados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Moreno

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	249.0	-1	205.8	-1	53.3	23.0	75.8	-1	-1	16.3	0.0	58.0
1969	18.0	36.0	63.0	56.0	129.0	149.2	222.0	81.8	43.6	27.7	0.0	12.6
1970	41.1	63.4	144.3	213.8	65.1	141.6	390.3	262.3	24.5	0.0	19.3	0.0
1971	41.9	0.0	79.1	112.0	232.2	153.0	130.6	66.8	47.8	52.9	46.8	0.0
1972	52.7	77.4	62.7	101.0	95.0	92.9	47.4	113.2	65.4	48.5	0.0	100.7
1973	82.6	22.5	37.3	151.3	65.7	127.1	113.0	0.0	99.0	36.4	0.0	35.6
1974	76.0	78.0	83.4	24.8	178.0	118.0	75.9	0.0	60.7	0.0	20.6	41.1
1985	20.6	91.4	127.3	235.7	0.0	90.4	157.0	56.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1986	10.6	21.3	76.8	137.6	34.6	159.7	31.4	52.6	0.0	0.0	60.0	32.6
1987	0.0	49.9	0.0	73.2	18.5	151.9	134.1	35.9	47.6	58.1	0.0	0.0
1988	26.9	70.1	93.3	119.4	131.0	105.1	232.1	91.6	51.1	0.0	0.0	25.8
1989	10.3	0.0	53.5	150.8	112.1	141.7	229.2	21.4	0.0	10.2	36.8	0.0

Tabela B.13 - Precipitação média mensal (mm) obtida a partir do método de Thiessen, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, da bacia do Tapacurá

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1968	44.1	36.5	130.1	75.7	88.6	58.8	115.4	40.0	24.3	7.6	5.0	47.0	673.2
1969	23.7	32.9	91.0	62.3	220.5	311.6	329.6	44.8	20.2	14.6	36.1	12.4	1199.6
1970	32.1	41.0	135.8	148.8	42.8	179.6	343.7	161.1	14.6	2.0	9.4	4.6	1115.5
1971	14.4	9.3	51.4	75.5	180.7	119.4	139.7	63.6	55.1	71.2	30.9	4.3	815.5
1972	48.2	14.1	69.6	159.4	193.9	175.5	96.4	97.5	54.2	24.6	5.7	11.1	950.3
1973	66.1	13.3	60.8	192.5	91.1	182.5	117.4	59.6	92.5	14.3	11.5	67.8	969.3
1974	80.4	47.8	172.6	245.0	138.4	149.7	168.3	42.5	90.0	2.9	22.5	82.3	1242.3
1985	60.5	125.9	236.8	219.0	164.6	174.9	252.8	107.3	31.3	13.5	25.0	27.1	1438.6
1986	19.6	109.5	224.8	231.2	167.2	266.2	290.2	114.7	72.1	32.5	106.6	71.9	1706.7
1987	41.7	106.9	157.8	173.3	58.0	195.0	164.5	62.2	28.9	35.9	13.3	15.8	1053.3
1988	33.7	47.4	170.4	165.3	165.9	189.9	254.5	57.2	44.6	15.1	51.6	39.7	1235.4
1989	62.0	21.5	86.7	217.7	201.6	194.6	292.2	89.8	37.2	41.0	62.4	101.1	1407.8
Média	43.9	50.5	132.3	163.8	142.8	183.1	213.7	78.4	47.1	22.9	31.7	40.4	1150.6

Tabela B.14 - Precipitação média mensal (mm) obtida a partir do método de Thiessen, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, da bacia do Goitá

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1968	99.4	38.4	98.9	49.6	65.5	43.8	92.6	37.9	6.7	4.1	1.6	47.0	585.4
1969	28.5	17.9	128.6	43.6	270.6	189.3	240.1	53.5	9.8	13.4	27.7	1.8	1024.9
1970	20.8	59.5	99.9	118.0	33.2	182.3	301.5	185.0	7.8	1.0	6.1	0.4	1015.5
1971	20.8	11.3	24.0	71.8	200.6	114.1	145.8	62.5	83.9	53.7	33.6	3.1	825.2
1972	62.6	19.1	91.2	203.4	262.6	238.2	120.3	140.5	60.2	21.1	9.0	15.2	1243.4
1973	56.8	14.8	78.7	255.2	88.9	200.7	111.5	65.1	78.0	13.1	11.0	69.4	1043.1
1974	98.8	66.3	183.9	184.2	167.8	162.0	166.1	42.4	107.0	10.3	23.3	35.6	1247.9
1985	33.6	131.8	287.4	206.0	135.1	176.4	208.1	78.5	26.0	8.5	16.6	32.7	1340.6
1986	32.0	115.0	197.4	205.7	150.5	258.9	260.5	110.4	72.6	36.3	109.9	102.2	1651.5
1987	51.9	120.9	152.0	151.5	45.2	148.2	146.6	47.2	21.6	36.5	1.4	0.6	923.6
1988	27.9	22.3	139.0	145.6	166.4	141.0	290.2	40.8	28.0	7.9	37.0	32.6	1078.8
1989	59.1	19.4	57.8	228.3	198.5	179.5	263.9	119.3	36.7	32.1	44.5	72.0	1311.1
Média	49.4	53.1	128.2	155.2	148.7	169.5	195.6	81.9	44.9	19.8	26.8	34.4	1107.6

Tabela B.15 - Precipitação média mensal (mm) obtida a partir do método de Thiessen, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, da bacia Várzea do Una

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1968	193.1	46.0	171.9	105.7	102.9	48.1	123.6	52.6	24.1	18.2	4.7	50.2	940.9
1969	40.7	40.7	82.4	88.1	239.7	232.5	278.5	85.4	44.6	15.4	19.1	15.1	1182.2
1970	35.9	63.0	146.3	258.5	80.5	195.0	387.6	232.2	27.0	11.1	19.7	0.7	1457.5
1971	36.1	14.4	68.7	104.6	262.0	130.9	161.5	82.2	70.9	80.0	41.2	1.1	1053.7
1972	47.2	48.6	105.6	183.0	209.4	172.0	103.2	143.2	71.4	68.2	14.1	72.8	1238.8
1973	80.3	39.0	70.5	310.2	123.4	225.2	140.5	58.6	122.9	29.9	14.3	50.4	1265.1
1974	96.5	68.0	170.6	81.9	264.6	180.6	131.8	39.2	101.9	28.5	27.1	47.6	1238.2
1985	30.4	97.5	217.3	226.4	120.2	162.9	310.6	67.6	47.1	7.1	13.6	32.0	1332.6
1986	50.9	87.7	174.6	239.0	132.7	374.5	175.9	138.9	93.0	29.3	146.0	123.9	1766.5
1987	47.1	114.2	107.9	176.1	55.3	219.6	220.5	72.1	43.2	64.4	1.6	1.3	1123.2
1988	43.4	56.8	184.2	164.8	158.7	176.7	295.6	82.0	55.1	12.8	34.8	38.0	1302.9
1989	55.1	12.1	59.6	222.9	157.0	232.5	317.5	120.4	15.1	25.7	52.0	60.5	1330.3
Média	63.1	57.3	129.9	180.1	158.9	195.9	220.6	97.9	59.7	32.6	32.3	41.1	1269.3

Tabela B.16 - Vazões mensais (m³/s) observados do posto Vitória de Santo Antão na bacia Tapacurá, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	0.87	0.83	1.94	0.69	1.27	0.51	1.41	0.63	0.48	0.35	0.35	0.87
1969	0.34	0.53	4.21	0.47	4.10	9.16	16.96	1.09	0.34	0.28	0.25	0.23
1970	0.24	0.34	0.61	0.81	0.55	2.07	16.51	8.64	0.44	0.31	0.24	0.17
1971	0.19	0.24	0.36	0.40	1.24	0.81	1.59	0.80	0.35	0.21	0.18	0.13
1972	0.14	0.14	0.18	1.11	1.81	6.81	1.69	1.46	0.45	0.17	0.15	0.13
1973	0.40	0.11	0.40	2.78	0.93	2.19	1.63	0.34	0.34	0.19	0.13	0.28
1974	0.19	0.18	1.22	11.70	2.57	2.62	0.23	8.55	0.24	0.13	0.17	0.22
1985	0.68	2.00	7.13	8.63	8.21	7.03	11.30	7.48	0.95	0.28	0.77	0.92
1986	0.39	1.45	2.59	11.60	3.42	14.80	16.40	4.46	1.58	1.20	1.74	2.02
1987	0.82	1.85	2.57	5.00	0.56	4.40	3.78	0.91	0.46	0.32	0.04	0.03
1988	0.76	0.31	3.09	2.96	6.36	5.52	25.20	1.96	1.04	0.26	0.43	0.46
1989	0.06	0.05	0.29	3.31	8.10	8.55	18.90	2.87	1.07	0.36	0.48	1.08

Tabela B.17 - Vazões mensais (m³/s) observados do posto Sítio Engenho na bacia do Goitá, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	2.07	1.06	1.97	1.11	2.00	1.17	2.45	7.35	0.52	0.19	0.11	0.81
1969	0.18	0.11	0.99	0.99	7.10	12.56	12.77	2.53	0.97	0.60	0.48	0.33
1970	0.40	0.47	1.95	4.94	1.51	6.42	16.40	10.35	1.91	1.23	1.02	0.82
1971	0.90	0.97	1.04	1.45	4.75	4.43	4.77	3.74	2.05	1.26	0.96	0.59
1972	0.79	0.64	1.05	2.69	4.87	10.61	5.95	3.47	3.07	1.23	0.84	0.65
1973	0.99	0.70	0.84	7.38	2.91	12.34	6.88	2.29	2.65	1.14	1.73	0.97
1974	1.17	1.68	5.03	7.30	10.85	7.15	9.60	2.21	2.59	1.12	0.77	1.06
1985	0.20	1.75	10.80	9.20	5.43	4.87	11.00	4.84	1.34	0.67	0.53	0.55
1986	0.37	1.79	2.91	10.50	3.53	26.90	15.30	6.15	2.78	1.71	1.93	3.09
1987	1.17	1.41	2.48	4.77	1.20	2.34	3.38	1.44	1.03	0.80	0.52	0.49
1988	0.51	0.36	0.52	1.13	5.78	4.15	22.50	2.95	1.30	0.88	0.81	0.69
1989	0.69	0.64	0.75	5.50	5.06	7.86	13.00	5.34	3.11	1.69	1.57	1.83
Média	0,79	0,97	2,53	4,75	4,58	8,40	10,33	4,39	1,94	1,04	0,94	0,99

Tabela B.18 - Dados de evaporação (mm) do período de 1968 a 1987 do posto evaporimétrico Curado

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	213.89	126.10	178.10	148.40	144.22	127.40	170.70	169.40	183.20	245.50	259.20	240.80
1969	220.80	217.30	188.60	168.00	152.70	154.20	128.42	162.10	188.00	237.70	242.40	240.70
1970	237.30	219.50	179.80	153.40	165.70	147.60	152.70	173.80	193.00	215.40	229.40	249.90
1971	232.50	214.70	213.10	153.50	128.80	117.80	146.50	158.60	153.00	183.10	177.80	217.10
1972	210.20	188.20	189.60	180.60	140.50	143.30	135.70	158.40	184.60	205.70	197.00	216.20
1973	234.40	180.20	193.60	136.80	125.20	152.30	138.00	177.90	166.80	189.60	205.50	206.30
1974	183.50	158.60	138.80	122.40	129.20	126.90	118.90	158.90	163.80	195.10	203.00	213.70
1985	212.50	178.80	178.10	155.00	144.22	145.50	128.42	150.00	160.50	185.20	203.80	198.70
1986	239.80	180.60	166.50	154.30	199.80	147.80	172.50	158.30	184.00	198.80	195.90	186.00
1987	213.89	169.50	178.10	153.40	144.22	162.50	128.42	154.08	178.30	200.39	205.26	198.66
Média	213,89	179,63	178,10	153,40	144,22	138,55	135,58	154,08	171,81	200,39	205,26	209,73

Tabela B.19 – Postos de referência e os respectivos postos vizinhos considerados na análise de homogeneização das sub-bacias

BACIA DO TAPACURÁ	
Postos de referência	Postos vizinhos
Russinha	Pombos. Serra Grande. Vitória de Santo Antão. Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz
Pombos	Russinha. Serra Grande. Vitória de Santo Antão. Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz
Serra Grande	Russinha. Pombos. Vitória de Santo Antão. Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz
Vitória de Santo Antão	Russinha. Pombos. Serra Grande. Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz
Apoti	Russinha. Pombos. Serra Grande. Vitória de Santo Antão. Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz
Chã de Alegria	Russinha. Pombos. Serra Grande. Vitória de Santo Antão. Apoti. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz
Bela Rosa	Russinha. Pombos. Serra Grande. Vitória de Santo Antão. Apoti. Chã de Alegria. Nossa Senhora da Luz
Nossa Senhora da Luz	Russinha. Pombos. Serra Grande. Vitória de Santo Antão. Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa
BACIA DO GOITÁ	
Postos de referência	Postos vizinhos
Apoti	Chã de Alegria. Bela Rosa. Bengalas. Glória do Goitá. Musserepe
Chã de Alegria	Apoti. Bela Rosa. Bengalas. Glória do Goitá. Musserepe
Bela Rosa	Apoti. Chã de Alegria. Bengalas. Glória do Goitá. Musserepe
Bengalas	Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Glória do Goitá. Musserepe
Glória do Goitá	Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Bengalas. Musserepe
Musserepe	Apoti. Chã de Alegria. Bela Rosa. Bengalas. Glória do Goitá
BACIA DO VÁRZEA DO UNA	
Postos de referência	Postos vizinhos
Vitória de Santo Antão	Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz. Moreno
Chã de Alegria	Vitória de Santo Antão. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz. Moreno
Bela Rosa	Vitória de Santo Antão. Chã de Alegria. Nossa Senhora da Luz. Moreno
Nossa Senhora da Luz	Vitória de Santo Antão. Chã de Alegria. Bela Rosa. Moreno
Moreno	Vitória de Santo Antão. Chã de Alegria. Bela Rosa. Nossa Senhora da Luz

Tabela B.20 - Vazões afluentes mensais (m³/s) a montante do reservatório Tapacurá, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	0.94	0.97	2.43	0.91	1.81	0.68	1.86	0.83	0.63	0.69	0.75	0.96
1969	0.53	0.80	5.39	0.73	5.61	11.09	20.37	1.68	0.60	0.47	0.31	0.37
1970	0.37	0.41	0.74	1.05	0.70	2.91	19.50	11.25	0.69	0.62	0.44	0.27
1971	0.26	0.33	0.59	0.53	1.60	1.05	2.15	1.14	0.54	0.31	0.28	0.19
1972	0.20	0.16	0.24	1.43	2.41	9.08	2.27	1.86	0.65	0.25	0.29	0.16
1973	0.52	0.21	0.56	3.54	1.25	2.82	2.20	0.43	0.43	0.24	0.15	0.45
1974	0.22	0.28	1.65	15.17	3.48	3.67	0.31	11.41	0.32	0.15	0.22	0.26
1985	0.77	2.61	10.45	10.50	11.48	10.82	15.80	10.93	1.51	0.45	1.08	1.16
1986	0.54	1.99	3.64	15.92	4.89	22.29	25.39	6.38	2.45	1.75	2.66	3.08
1987	1.35	3.16	3.64	6.48	0.72	6.25	5.39	1.30	0.56	0.47	0.04	0.03
1988	1.42	0.42	4.71	4.19	9.57	8.15	35.42	3.15	1.52	0.49	0.77	0.70
1989	0.08	0.08	0.39	4.99	11.57	13.02	26.70	4.01	1.53	0.61	0.77	1.78
Média	0,60	0,95	2,87	5,45	4,59	7,65	13,11	4,53	0,95	0,54	0,65	0,78

Tabela B.21 - Vazões afluentes mensais (m³/s) a montante do reservatório Várzea do Una, de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	1.24	0.45	1.35	0.86	0.79	0.55	1.10	0.58	0.37	0.33	0.23	0.56
1969	0.40	0.41	0.71	0.75	1.37	1.83	2.10	0.75	0.46	0.24	0.28	0.26
1970	0.36	0.57	1.17	1.50	0.66	1.69	3.10	1.96	0.46	0.34	0.41	0.27
1971	0.36	0.21	0.61	0.87	1.42	1.09	1.31	0.73	0.65	0.72	0.43	0.16
1972	0.45	0.47	0.88	1.29	1.12	1.51	1.01	1.30	0.77	0.75	0.35	0.78
1973	0.68	0.40	0.63	1.82	0.79	2.01	1.39	0.79	1.26	0.58	0.47	0.73
1974	0.78	0.61	1.33	0.71	1.39	1.47	1.12	0.44	0.90	0.36	0.35	0.35
1985	0.32	0.82	1.60	1.32	1.01	1.33	2.24	0.63	0.48	0.20	0.25	0.38
1986	0.47	0.75	1.35	1.43	1.00	1.97	0.84	1.50	1.16	0.69	1.55	1.38
1987	0.45	0.95	0.90	1.25	0.51	1.87	1.87	0.79	0.57	0.73	0.27	0.27
1988	0.42	0.53	1.42	1.15	1.14	1.02	2.44	0.87	0.68	0.37	0.53	0.55
1989	0.50	0.20	0.55	1.54	1.00	1.92	2.54	1.10	0.33	0.40	0.59	0.66
Média	0.54	0.53	1.04	1.21	1.02	1.52	1.75	0.95	0.67	0.48	0.48	0.53

Tabela B.22 - Dados homogeneizados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Vitória de Santo Antão

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	12.1	20.4	109.8	73.7	101.2	59.7	112.2	39.3	25.4	16.7	12.3	21.5
1969	32.5	46.9	85.3	91.7	228.3	220.1	221.9	58.9	36.0	27.0	25.8	21.7
1970	48.6	27.7	101.4	144.3	34.7	204.5	214.8	141.5	23.9	3.6	19.1	7.9
1971	17.1	5.5	88.8	68.6	146.2	106.5	142.0	71.5	61.3	82.3	38.2	4.5
1972	45.6	2.2	47.6	120.0	140.3	155.7	94.6	82.1	73.6	29.4	10.4	7.7
1973	67.7	23.2	68.5	146.4	90.8	147.5	119.3	41.6	76.1	12.1	7.4	99.7
1974	36.8	64.7	180.4	249.0	135.0	159.5	171.1	42.2	80.7	0.0	19.3	50.0
1985	34.0	122.1	303.0	161.9	195.4	242.6	306.0	148.1	46.5	23.3	31.7	22.7
1986	18.5	119.6	273.0	250.8	203.0	356.8	427.9	138.2	102.5	45.3	144.6	88.0
1987	59.3	168.5	196.1	161.0	52.9	244.3	203.1	81.8	23.1	46.3	3.8	7.7
1988	60.4	49.4	242.0	196.6	237.0	258.3	297.5	95.7	62.5	31.3	97.6	60.2
1989	72.3	36.5	97.1	288.0	240.3	261.9	338.9	99.6	50.0	74.5	97.4	177.9

Tabela B.23 - Dados homogeneizados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Chã de Alegria

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	48.0	42.0	98.0	85.0	131.3	50.6	147.0	40.0	11.0	0.0	0.0	0.0
1969	38.6	34.3	69.2	57.8	332.0	326.0	359.6	77.0	17.0	0.0	78.5	0.0
1970	29.7	30.6	138.4	108.0	58.8	250.4	332.0	252.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	6.2	42.5	24.2	153.4	355.0	178.0	190.7	117.8	171.7	139.1	71.1	11.4
1972	118.1	51.9	211.8	371.2	640.2	364.6	138.4	119.0	37.4	30.0	10.2	12.4
1973	52.6	14.2	94.4	341.0	120.6	332.8	161.0	107.8	89.0	13.0	15.0	100.6
1974	107.4	71.8	213.6	123.0	210.6	263.2	174.0	49.6	150.8	2.2	27.4	28.2
1985	15.6	125.8	293.9	189.0	140.6	241.0	153.2	65.6	26.6	2.8	6.8	19.3
1986	29.2	131.4	196.0	284.0	197.2	308.0	291.2	128.2	63.8	6.2	125.4	123.8
1987	71.2	173.7	119.0	173.0	51.8	143.4	147.4	32.0	4.6	26.4	0.0	0.0
1988	46.2	39.0	149.2	206.0	129.5	160.2	288.4	25.4	16.6	2.2	35.4	7.6
1989	55.2	5.4	59.2	315.2	290.4	266.8	384.4	105.4	13.4	15.6	65.0	30.2

Tabela B.24 - Dados homogeneizados de precipitação (mm), de 1968 a 1974 e de 1985 a 1989, do posto Nossa Senhora da Luz

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1968	198,4	83,2	158,0	165,0	168,0	102,0	206,0	43,0	23,0	28,0	15,0	57,0
1969	77,0	56,0	129,0	152,0	346,5	327,0	355,1	99,7	60,0	0,0	33,0	29,0
1970	41,0	93,0	207,0	432,0	120,0	250,0	457,0	174,0	40,0	30,0	25,0	1,2
1971	46,7	31,3	64,5	81,2	274,7	73,5	207,3	103,5	72,0	104,0	3,5	0,0
1972	0,0	15,5	146,4	256,0	271,0	238,0	176,0	230,2	86,4	136,0	45,0	53,6
1973	91,0	78,6	120,2	506,2	206,3	339,0	176,0	131,5	173,7	30,5	33,6	48,8
1974	153,0	54,0	254,0	138,3	374,6	238,8	162,2	80,8	142,4	9,8	33,0	61,8
1985	37,2	86,8	312,0	198,6	229,2	213,6	493,4	68,4	97,9	9,6	18,6	38,6
1986	95,4	161,6	273,3	362,0	232,6	684,8	304,4	248,2	177,2	57,8	195,9	186,8
1987	56,2	136,6	192,8	289,8	105,4	302,3	343,0	123,5	42,2	73,0	3,1	3,0
1988	34,2	47,0	229,0	277,8	183,0	271,6	370,5	87,7	59,3	23,3	57,2	43,0
1989	124,3	17,3	57,6	288,4	218,2	306,6	417,0	235,1	22,0	41,1	56,9	116,5