

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO PLURIANUAL CONJUNTA  
DE DOIS RESERVATÓRIOS INTERLIGADOS E DOIS  
PERÍMETROS IRRIGADOS NO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

**JOSÉ FLORENTINO PORTO JUNIOR.**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**FEVEREIRO DE 2002**

**JOSÉ FLORENTINO PORTO Jr.**

**OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO PLURIANUAL CONJUNTA DE DOIS  
RESERVATÓRIOS INTERLIGADOS E DOIS PERÍMETROS IRRIGADOS NO  
SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

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**

**FEVEREIRO DE 2002**



P853o Porto Junior, José Florentino.  
Otimização e simulação plurianual conjunta de dois reservatórios interligados e dois perímetros irrigados no semi-árido paraibano / José Florentino Porto Junior. - Campina Grande, 2002.  
109 f.

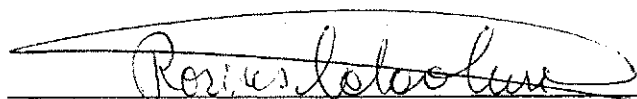
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2002.  
"Orientação : Profa. Rosires Catão Curi, Prof. Wilson Fadlo Curi".  
Referências.

1. Irrigação - Semi-Árido Paraibano. 2. Reservatórios - Otimização e Simulação. 3. Sistemas de Recursos Hídricos. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Curi, Rosires Catão. II. Curi, Wilson Fadlo. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título  
CDU 631.67(813.3)(043)


**OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO PLURIANUAL CONJUNTA DE DOIS  
RESERVATÓRIOS INTERLIGADOS E DOIS PERÍMETROS IRRIGADOS NO  
SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

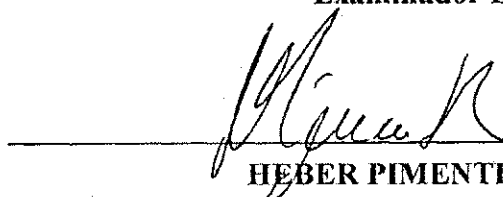
**JOSÉ FLORENTINO PORTO JUNIOR.**

**DISSERTAÇÃO DEFENDIDA EM 18 DE FEVEREIRO DE 2002**

  
\_\_\_\_\_  
**ROSIRES CATÃO CURI**  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
**WILSON FADLO CURI**  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
**JOSÉ DANTAS NETO**  
Examinador Externo

  
\_\_\_\_\_  
**HEBER PIMENTEL GOMES**  
Examinador Interno

**Campina Grande – PB**

**FEVEREIRO DE 2002**

A meus pais José e Joana Bernadete,

a Sheila e

a meus filhos Victor Hugo e Anna Júlia, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

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

Aos meus pais, irmãos, Sheila, Victor Hugo e Anna Júlia 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 todos os professores da Área de Recursos Hídricos pela formação que recebi.

A minha turma de Curso, Leonardo A. Neves, Lucilio J.Vieira, Hildeberto Bernardes Lacerda Jr., Marcus Carlos Costa Santos.

Agradeço a prestimosa contribuição dos professores José Dantas Neto, Lúcia Helena Garófalo Chaves, Carlos de Oliveira Galvão, Raimundo Sérgio Santos Góis, Carlos Spatacus da Silva Oliveira e ao funcionário da SEMARH-Pb Cristiano de Almeida, e aos funcionários do LMRS-Pb Isnaldo Candido da Costa e Patrice Roland da Silva Oliveira.

A Alrezinha, Dona Alzira, Vera, Raulino, Valdomiro, Ismael, Aroldo, Ronaldo Israel e Fagner (funcionários do Laboratório de Recursos Hídricos), pelo apoio e disposição em ajudar.

Aos amigos Alessandra Maria Ramos, Alcidney Batista Celeste, Aldo Sidney Oliveira Albuquerque, Fabio Góes, Heline Santana Modesto e Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade.

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

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste Trabalho.

## SUMÁRIO

Dedicatória .....	iii
Agradecimentos .....	iv
Sumário .....	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Símbolos .....	xii
Resumo .....	xv
Abstract .....	xvi
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
INTRODUÇÃO .....	1
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>5</b>
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>16</b>
SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS .....	16
3.1 O SISTEMA DE RESERVATÓRIOS.....	16
3.2 CANAL DE ADUÇÃO DAS ÁGUAS DO SISTEMA COREMAS/MÃE D'ÁGUA PARA AS VÁRZEAS DE SOUSA.....	19
3.3 DADOS REFERENTES AOS PERÍMETROS IRRIGADOS.....	20
3.4 DADOS HIDROLÓGICOS.....	31
3.4.1 Referentes a Região dos Reservatórios de Coremas e Mãe D'água.....	31
3.4.2 Referentes a Região do Perímetro Irrigado de Sousa -- PB.....	31
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>33</b>
O MODELO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO CISDERGO.....	33
4.1 INTRODUÇÃO.....	33
4.2 DESCRIÇÃO DO MODELO CISDERGO.....	34
4.3 ESTRUTURA DOS DADOS PARA O MODELO CISDERGO.....	48
4.3.1 Os Objetivos do Modelo CISDERGO.....	48
4.3.2 Fluxograma do Modelo CISDERGO.....	48
4.3.3 Dados de Entrada do Modelo CISDERGO.....	49
4.3.4 Resultados Fornecidos Pelo Modelo.....	51

<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>52</b>
DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52
5.1 INTRODUÇÃO.....	52
5.2 DADOS REFERENTES AOS RESERVATÓRIOS.....	53
5.3 DADOS DE PRECIPITAÇÕES DA ÁREA IRRIGÁVEL.....	57
5.4 EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL NA ÁREA DO RESERVATÓRIO E NA ÁREA IRRIGÁVEL.....	59
5.5 DADOS DE ENTRADAS DO MODELO CISDERGO 2.0.....	59
5.5.1 Dados Referentes ao Reservatório.....	59
5.5.2 Dados Referentes aos Canais.....	60
5.5.3 Dados Referentes ao Sistema de Bombeamento.....	60
5.5.4 Dados referentes às culturas.....	61
5.5.5 Dados referentes ao sistema de irrigação.....	64
5.6 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 40% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 4m <sup>3</sup> /s.....	66
5.7 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 60% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 4m <sup>3</sup> /s.....	70
5.8 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 80% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 4m <sup>3</sup> /s.....	75
5.9 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 100% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 4m <sup>3</sup> /s.....	79
5.10 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 40% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5.5m <sup>3</sup> /s.....	83
5.11 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 60% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5.5m <sup>3</sup> /s.....	87
5.12 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 80% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5.5m <sup>3</sup> /s.....	91
5.13 CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 100% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5.5m <sup>3</sup> /s.....	95
5.14 SIMULAÇÃO.....	100
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>103</b>
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
6.2 CONCLUSÃO.....	103



6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Curva de relação: Cota x Área x Volume do reservatório de Coremas e Mãe D'água.....	17
Figura 3.2	Bacias hidrográficas do estado da Paraíba com a localização da cidade de Sousa e dos reservatórios.....	18
Figura 3.3	Layout do canal Coremas /Mãe D'água – Sousa (canal da Redenção).....	19
Figura 3.4	Layout do sistema em estudo.....	20
Figura 3.5	Solos da bacia do rio Piancó e Alto Piranhas.....	21
Figura 3.6	Solos, aptidão agrícola e distribuição parcelar do projeto várzeas de Sousa...	25
Figura 4.1	Fluxograma do modelo CISDERGO.....	49
Figura 5.1	Vazões afluentes ao reservatório Coremas e Mãe D'água nos diferentes períodos hidroclimáticos.....	57
Figura 5.2	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.....	67
Figura 5.3	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em há, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.....	68
Figura 5.4	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s, para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.....	70
Figura 5.5	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.....	71
Figura 5.6	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 60%da capacidade máxima do reservatório.....	72
Figura 5.7	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s, para os períodos os seco, normal e chuvoso com volume inicial de 60%da capacidade máxima do reservatório.....	74
Figura 5.8	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para o períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.....	76
Figura 5.9	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em há, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.....	76
Figura 5.10	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s, para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 80%da capacidade máxima do reservatório.....	78
Figura 5.11	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.....	80
Figura 5.12	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 100%da capacidade máxima do reservatório.....	81

Figura 5.13	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s para os cenários seco médio e normal e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.	81
Figura 5.14	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os cenários seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.	84
Figura 5.15	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.	84
Figura 5.16	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s, para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.	86
Figura 5.17	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.	88
Figura 5.18	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em há, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.	88
Figura 5.19	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s, para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.	90
Figura 5.20	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.	92
Figura 5.21	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.	92
Figura 5.22	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s, para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.	94
Figura 5.23	Volumes mensais do reservatório em m <sup>3</sup> para os cenários seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade do reservatório.	96
Figura 5.24	Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 100% da capacidade do reservatório.	97
Figura 5.25	Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em m <sup>3</sup> /s para os períodos seco médio e normal e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.	99
Figura 5.26	Volumes finais dos reservatórios para as simulações.	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Dados referentes às capacidades dos reservatórios Coremas e Mãe D'água....	17
Tabela 3.2	Estrutura do canal da Redenção.....	19
Tabela 3.3	Tipos de solos utilizados e áreas, da bacia do rio Piancó.....	20
Tabela 3.4	Unidades de solos das várzeas de Sousa.....	24
Tabela 3.5	Unidades de solos - Resumo dos tipos de solos e suas características, para aptidão e manejo das culturas irrigadas.....	26
Tabela 3.6	Precipitação mensal média em Coremas (mm).....	31
Tabela 3.7	Evaporação média mensal em no posto de Coremas.....	31
Tabela 3.8	Umidade relativa na área do reservatório.....	31
Tabela 3.9	Precipitação mensal média (mm).....	32
Tabela 3.10	Evaporação média mensal no tanque Classe A em Sousa (mm).....	32
Tabela 3.11	Temperatura média mensal em Sousa (°C).....	32
Tabela 3.12	Umidade relativa média do ar em Sousa (%).....	32
Tabela 5.1	Definições dos períodos hidroclimáticos	53
Tabela 5.2	Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período seco.....	54
Tabela 5.3	Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período normal.....	54
Tabela 5.4	Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período chuvoso. ....	54
Tabela 5.5	Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período médio, série de 1937 a 1990.....	55
Tabela 5.6	Vazões mensais totais e anuais (m <sup>3</sup> /mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água - Período seco.....	55
Tabela 5.7	Vazões mensais totais e anuais (m <sup>3</sup> /mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água - Período normal.....	56
Tabela 5.8	Vazões mensais totais e anuais (m <sup>3</sup> /mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água - Período chuvoso.....	56
Tabela 5.9	Vazões médias mensal total e anuais (m <sup>3</sup> /mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água por cada um dos rios contribuintes - Ano médio.....	56
Tabela 5.10	Precipitações mensais em (mm) na área irrigável para o período seco.....	57
Tabela 5.11	Precipitações mensais em (mm) na área irrigável para o período normal.....	58
Tabela 5.12	Precipitações mensais em (mm) na área irrigável para o período chuvoso.....	58
Tabela 5.13	Precipitações mensais em (mm) na área irrigável entre 1937 e 1990 para o período médio.....	58
Tabela 5.14	Evaporação média mensal em Coremas – Bacia Hidrográfica do Piancó e na área irrigável nas margens do reservatório em (mm) .....	59
Tabela 5.15	Evaporação média mensal no tanque Classe A em Sousa (mm).....	59
Tabela 5.16	Tipos de solos utilizados e áreas, da bacia do rio Piancó.....	61
Tabela 5.17	Unidades de solos das várzeas de Sousa.....	61
Tabela 5.18	Culturas selecionadas com suas respectivas áreas máximas e mínimas e seus respectivos preços de venda.....	62
Tabela 5.19	Plano cultural anual das culturas selecionadas.....	62
Tabela 5.20	Coefficiente de cultivo das culturas.....	63
Tabela 5.21	Produtividade da cultura a cada ano em kg/ha/ano ou fruto*/ha/ano.....	63

Tabela 5.22	Custo médio de produção para cada cultura em R\$/ ha.....	64
Tabela 5.23	Tipos de sistemas de irrigação, eficiências, pressões requeridas e custo de investimento para cada cultura.....	65
Tabela 5.24	Planilha de montagem dos cenários.....	65
Tabela 5.25	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 40% e vazão de regularização de 4m <sup>3</sup> /s.....	66
Tabela 5.26	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso em (ha).....	69
Tabela 5.27	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 60% e vazão de regularização de 4m <sup>3</sup> /s.....	71
Tabela 5.28	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os cenários seco, médio, normal e chuvoso.....	73
Tabela 5.29	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 80% e vazão de regularização de 4m <sup>3</sup> /s.....	75
Tabela 5.30	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.....	77
Tabela 5.31	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 100% e vazão de regularização de 4m <sup>3</sup> /s.....	80
Tabela 5.32	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.....	82
Tabela 5.33	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 40% e vazão de regularização de 5,5 m <sup>3</sup> /s.....	83
Tabela 5.34	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso em (ha).....	85
Tabela 5.35	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 60% e vazão de regularização de 5,5 m <sup>3</sup> /s.....	87
Tabela 5.36	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.....	89
Tabela 5.37	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 80% e vazão de regularização de 5,5 m <sup>3</sup> /s.....	91
Tabela 5.38	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.....	93
Tabela 5.39	Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 100% e vazão de regularização de 5,5 m <sup>3</sup> /s.....	95
Tabela 5.40	Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.....	98
Tabela 5.41	Volumes do reservatório para todos os anos das simulações.....	101

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Ac_{ijk}$	Área plantada com a cultura $i$ na unidade de produção $j$
$Amax_{ij}$	Área máxima plantada com a cultura $j$ na unidade de produção $j$ em ha,
$Amax_{ip}$	Área máxima plantada com a cultura no perímetro em ha.
$Amin_{ij}$	Área mínima plantada com a cultura $i$ na unidade de produção $j$ em ha
$Amin_{ip}$	Área mínima plantada com a cultura no perímetro
$Atot_{jt}$	Área máxima que pode ser plantada na unidade de produção no mês em ha,
$Ca_{ijklt}$	Custo da água anual, em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de
$Cb_{ijklt}$	Custo do bombeamento de água mensal para a cultura $i$ na unidade de produção $k$
$Cb_{ijklt}$	Custo anual de produção do sistema de bombeamento
$CE$	Condutividade elétrica do extrato de solo saturado
$CE_{aguak}$	Condutividade elétrica da água de irrigação
$Cp_{ijklt}$	Custo de produção anual do sistema de bombeamento ,
$Cprod_{it}$	Custo atual de produção da cultura $i$ referentes à gastos relativos ao ano $t$ em \$/ha.
$Csi_{ijklt}$	Custo de implantação e manutenção, Energia em Kwh utilizada durante o mês $t$ para irrigar a cultura $i$ na unidade de
$E_{ijklt}$	produção $j$
$Eirr_i$	Eficiência do sistema de irrigação,
$Etp_{ijt}$	Taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura $i$ na unidade de produção $j$
$Evc_{jt}$	Taxa de evaporação mensal média em mm/mês
$Evr_t$	Taxa de evaporação mensal na região do reservatório em mm/mês
$G_{ijt}$	Dotação de água à zona radicular da cultura $i$ na unidade de produção $j$
$\eta$	Eficiência do sistema de bombeamento
$Hbrec_t$	Altura máxima de recalque do sistema de bombeamento em m
$H_j$	Cota da unidade de produção $j$ em m
$H_k$	Cota da parte térrea da fonte $k$ em m
$Hprod_{klt}$	Profundidade mensal para adução de água da fonte $k$ (m)

$Kc_{it}$	Coeficiente de cultivo mensal da cultura i
$Kt_j$	Coeficiente do tanque evaporimétrico do perímetro
$na$	Número de anos em estudo,
$nb$	Número de sistemas de bombeamento
$nb_{fkl}$	Número de bombas do sistema l de bombeamento alocados na fonte k
$Nb_l$	Número de bombas em cada conjunto
$nc$	Número de áreas irrigadas destinadas a diferentes culturas,
$nf$	Número de fontes,
$Nl_{ijklt}$	Necessidade hídrica suplementar da cultura i, na unidade de produção j
$nn$	Número de unidades de produção,
$P$	Conjunto de unidades de produção pertencentes ao perímetro
$Pce_{jt}$	Precipitação efetiva no mês t na unidade de produção j
$Pc_{jt}$	Taxa de precipitação mensal média em mm/mês
$Pimi$	Custo de manutenção por unidade de área do sistema de irrigação
$Pisc_m$	Custo de implantação do sistema de canais
$Pisf_k$	Custo de implantação da fonte k
$Pisis_i$	Custo de implantação por unidade de área do sistema de irrigação
$Plkwh$	Preço da energia para o sistema de bombeamento l em \$/Kwh,
$Pmsc_m$	Custo de manutenção do sistema de canais
$Pmsf_k$	Custo de manutenção da fonte k
$Pot_{ijklt}$	Potência requerida durante o mês t p/ irrigar a cultura i na unidade de produção j
$Pra_k$	Preço atual da água em $\$/m^3$
$Prb$	Preço do Kwh para o sistema de bombeamento l
$Pre$	Preço atual de comercialização da cultura j em $\$/Kg$
$Prod_{jt}$	Produtividade da cultura j no ano t de irrigação em Kg/ha,
$Prt$	Precipitação durante o mês na área do reservatório em mm/mês,
$Qa_t$	Vazão afluyente ao reservatório em $m^3/mês$
$Qd_t$	Vazão defluente do reservatório em $m^3/mês$
$Qirr_{ijklt}$	lâmina mensal de água para a irrigação da cultura i da unidade de produção j

$Rb_{ijkl}$	Renda bruta anual
$Rl_{ijkl}$	Receita líquida, em \$/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento
$tvusc_m$	Tempo de vida útil do sistema de canais
$tvusf_k$	Tempo de vida útil da fonte k
$tvusi_i$	Tempo de vida útil do sistema de irrigação
$txsc_m$	Taxa anual de amortização do investimento para o sistema de canais
$txsf_k$	Taxa anual de amortização do investimento para o sistema de fontes k
$txsi_i$	Taxa anual de amortização do investimento para o sistema de irrigação.
$Vbcap_l$	Vazão mensal média aduzida de cada bomba
$Vbmax$	Capacidade máxima mensal de vazão do sistema de bombeamento em $m^3/mês$ .
$Vdef_i$	Vazão descarregada do reservatório em $m^3/mês$
$Vextmax$	Capacidade de extravasamento do reservatório, em $m^3/mês$
$Vext_t$	Vazão vertida pelo extravasador em $m^3/mês$
$Vlfmax_m$	Vazão máxima mensal suportada pela soma da adução de água dos poços
$Vpmax_{kt}$	Vazão máxima mensal de cada poço.
$Vr_{i+1}$	Volume do reservatório em $m^3/mês$
$Vrmax_t$	Volume máximo admitido para o reservatório no mês, em ( $m^3$ )
$Vrmin_t$	Volume mínimo admitido para o reservatório no mês ( $m^3$ ).
$Vr_t$	Volume do reservatório em $m^3/mês$
$W_{jt}$	Reserva de água no solo no mês t
CM	Capacidade máxima;
Q reg	Vazão de regularização
Rec.	
Líquida	Receita líquida potencial
P.Irrig	Perímetros irrigados (1 várzeas de Sousa, 2 margens dos reservatórios)
Rec.	
Líquida	Receita líquida potencial para cada cultura x $10^6$ R\$
$\Sigma Qc$	Somatório dos volumes captados pelos canais para a irrigação em $m^3$ nos 6 anos



## RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre a operação de um sistema composto por dois reservatórios interligados, Coremas e Mãe D'Água, os quais constituem-se no maior manancial superficial do Estado da Paraíba, e o terceiro maior do nordeste, e dois perímetros irrigados, localizados às margens dos reservatórios e nas várzeas de Souza. Os reservatórios estão inseridos na Bacia do rio Piancó e o perímetro irrigado das várzeas de Sousa entre as cidades de Sousa e Aparecida, ambos na região semi-árida do Estado da Paraíba. O estudo realizado teve como objetivo estudar o comportamento do sistema visando a maximização da receita líquida potencial para diferentes cenários hidroclimáticos e operacionais enquanto se procurava garantir a sua sustentabilidade hídrica. Diferentes cenários hidroclimáticos, para períodos de seis anos de dados mensais e classificados como seco, médio, normal e chuvoso, foram usados para estabelecer, com maior segurança para os agricultores, a seleção de áreas a serem cultivadas com culturas perenes. Foram, também, estabelecidos cenários operacionais relativos às vazões de regularização, de 4 m<sup>3</sup>/s e 5,5 m<sup>3</sup>/s, e diferentes volumes iniciais dos reservatórios, com 40%, 60%, 80% e 100% de sua capacidade. Para analisar o comportamento do sistema hídrico foi aplicado o modelo CISDERGO - 2.0 (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), que é um programa de otimização baseado em programação linear recursiva. Os resultados mostraram que o aumento na vazão de regularização exerce grande influência na alocação das áreas irrigadas e nas receitas líquidas obtidas. Este critério operacional, que limita a quantidade de água a ser disponibilizada para a irrigação, pode ser agravada com as condições do volume inicial do reservatório e do período hidroclimático em que está sendo realizado a otimização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo de Otimização, Operação de Reservatórios e Planejamento Agrícola.

## ABSTRACT

In this work a operational study for the system consisting of two interconnected reservoirs, Coremas and Mãe D'água, which are, together, the largest water dam of Paraíba state and the third largest one of the northwest region of Brazil, were performed. The use of its water includes urban demands, regulated release flow and irrigation. Two irrigation sites, which are located in the neighborhood of the dams and between the cities of Souza and Aparecida-PB, with areas of 5084 ha and 2000 ha and subdivided into 3 and 2 production units according to the soil type, respectively, were taken into account. The reservoirs, which are part of the Piancó river basin, and the irrigated croplands are located within a semiarid region with low precipitation and high evaporation index. The operational rules were achieved by mathematically describing the system as a linear programming problem, whose objective was to maximize the net profit. It has been considered different hydro-climate and operational scenarios of sets of 6 years of monthly data as well as the guarantee of the sustainability of the system. The climate scenarios were characterized as dry, normal, medium and wet and the operational scenarios were related with the regulated release flow, which were taken as 4 m<sup>3</sup>/s and 5.5 m<sup>3</sup>/s, and the reservoirs initial volumes, which were taken as 40%, 60%, 80% and 100% of their capacities. Maximum areas for fifth types of crops were design for each production unit of the irrigated croplands according to soil type. The software CISDERGO 2.0 (Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation), which is designed to work within MATLAB environment and whose solution is based on a recursive linear programming procedure, was used. The results have shown that an increase of the regulated flow implies in a reduction of irrigated areas and the net profit. This operational procedure, which limits the amount of water available for irrigation, along with the hydro-climate and initial conditions play an important role on the allocation of areas for irrigated crops.

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

“A falta de água doce se tornará o principal problema ambiental do mundo dentro de 30 anos.”

*Publicação do jornal “O Globo”, 10/02/96, “O mundo, Ciência e Vida”*

“Hoje, 1/3 da humanidade já enfrenta séria escassez de água e a Organização Meteorológica Mundial prevê que a situação vai piorar e que 1 bilhão de pessoas vão enfrentar falta de água em pouco menos do que 20 anos.”

*Comentou Henry Lloyd, dirigente da AquaSonics International, via [aguaonline.com.br](http://aguaonline.com.br), nº 74. Agosto de 2001*

As manchetes supra citadas tem se tornado freqüente, tanto na mídia como na literatura científica. Uma das razões para a escassez de água no futuro é reputada a estimativa de crescimento da população mundial e a necessidade de alimentá-la, requerendo água em abundância e de boa qualidade, tanto para uso doméstico e industrial como para irrigação de culturas.

Na região Nordeste do Brasil, especificamente no semi-árido, o problema de secas está associado tanto com a distribuição irregular das ocorrências de precipitação como também com períodos de precipitações bem abaixo da média. Outro contribuinte para o problema é a alta taxa de evaporação. Tais fatores ocasionam, também, problemas de ordem sócio-econômicos.

O estado da Paraíba é um dos que apresentam os maiores índices de escassez hídrica e está diretamente inserido no polígono das secas, (Barth, 1987). O sistema de reservatórios interligados Coremas e Mãe D'Água constituem-se no maior reservatório da Paraíba, e o 3º maior do Nordeste, que estão sujeitos a múltiplos usos como abastecimento,

regularização de vazão, geração de energia, piscicultura e irrigação. Portanto, torna-se necessário uma operação adequada deste importante manancial da Paraíba. Operação que deve ser realizada com eficiência para proporcionar o máximo de benefícios e minimizar os potenciais conflitos entre os usuários. Neste caso com relação a regularização de vazão há um impasse político, pois o Estado da Paraíba libera  $4\text{m}^3/\text{s}$  e o Estado do Rio Grande deseja  $5,5\text{ m}^3/\text{s}$  sem contar com o volume de  $0,8\text{m}^3/\text{s}$  que é prioritário para o atendimento das cidades a jusante, LMRS (2001).

No caso de recursos hídricos utilizados para usos múltiplos, é necessário determinar normas operacionais adequadas para os diversos projetos envolvidos, de modo a maximizar os benefícios totais advindos da operação dos mesmos.

A agricultura irrigada está como uma das atividades que tem o maior consumo de água, dentre os diversos usuários finais deste recurso natural, chegando em muitos países a totalizar 80% do consumo, (Carvalho, 1998). No Brasil, estima-se que metade da água consumida ocorra na agricultura irrigada. Estes números indicam que qualquer política ou trabalho relacionado ao manejo dos recursos hídricos deve considerar a irrigação como um componente fundamental, quando tem-se a necessidade de irrigar, pois a irrigação é a forma de aumentar significativamente a produtividade das culturas bem como gerar receitas líquidas mais elevadas e com isso proporcionar melhorias para os aspectos sócio-econômicos da comunidade.

Definir normas operacionais para operação integrada dos reservatórios de Coremas e Mãe D'água e o planejamento agrícola dos perímetros irrigados das várzeas de Sousa e das margens dos reservatórios, considerando também os demais usos da água, é de fundamental importância para a sustentabilidade hídrica do manancial e sócio-econômica da população, de forma a evitar processos comuns em perímetros irrigados podendo levar ao colapso dos mananciais alimentadores.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é estudar as condições de operação ótima e conjunta do sistema composto pelos reservatórios integrados de Coremas e Mãe D'água e os perímetros irrigados das várzeas de Sousa-PB e das margens dos reservatórios, sugerindo critérios para o planejamento agrícola dos mesmos e operação dos reservatórios.

Como ferramenta para o desenvolvimento deste estudo será utilizado o modelo CISDERGO - 2.0 (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), que é um programa de otimização baseado em programação linear recursiva. Este modelo foi desenvolvido no ambiente MATLAB por Curi & Curi (2001), e é destinado a maximizar múltiplos benefícios e objetivos relativos a implantação e ao melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados.

Alguns estudos sobre este sistema de recursos hídricos já foram desenvolvidos por Curi e Curi (1998), Oliveira (1998) e Câmara (2000). Nestes estudos de otimização do uso da água dos reservatórios de Coremas e Mãe d'água foi utilizado uma versão do Modelo ORNAP(Optimal Reservoir Network Analysis Program) desenvolvido por Curi e Curi (1999). Foram simulados vários cenários hidroclimáticos e atribuídos algumas culturas para os perímetros irrigados das várzeas de Sousa-PB e das margens dos reservatórios. Oliveira (2000), para otimização do perímetro irrigado de Sousa-PB, utilizando o Modelo CISDERGO 1.3, empregando uma vazão fixa aduzida do reservatórios de Mãe D'água, para o planejamento agrícola do projeto das várzeas de Sousa.

Com o objetivo de aperfeiçoar os estudos supra citados, usa-se neste trabalho o CISDERGO 2.0, desenvolvido por Curi e Curi (2001), para analisar o sistema de forma conjunta, otimizando a operação dos reservatórios e o planejamento agrícola dos perímetros irrigados de Sousa e das margens dos reservatórios. Usa-se, neste trabalho, o conceito de unidades de produção, que é uma parcela de um perímetro irrigado, as quais serão definidos com base em características homogêneas de solo.

Os objetivos específicos desta pesquisa dizem respeito a otimização do uso da água do sistema Coremas e Mãe D'Água com a *maximização da receita líquida potencial auferida com irrigação* nas unidades de produção dos perímetros irrigados das margens dos reservatórios e das Várzeas de Sousa, para vários cenários hidroclimáticos e várias condições operacionais dos reservatórios, principalmente as questões de diferentes vazões regularizadas para o Rio Grande do Norte.

Neste estudo, foi levado em consideração os usos múltiplos da água dos reservatórios, as aptidões agrícolas das manchas de solos nas unidades de produção dos perímetros irrigados, intervalos temporais para o estudo de seis anos, diferentes valores de

volumes iniciais dos reservatórios, diferentes critérios de sustentabilidade hídrica do sistema e diferentes condições operacionais dos reservatórios.

I - Com relação aos reservatórios:

- Será priorizado o atendimento das demandas urbanas para as cidades que são abastecidas com água aduzida dos reservatórios.
- Deverão ser obedecidos os volumes operacionais mínimos e máximos mensais e as capacidades de vazão do extravasor, descarregador de fundo e da calha do rio.

II - Com relação aos perímetros irrigados será verificado:

- A adequação dos tipos de manchas de solo, e suas respectivas aptidões agrícolas em forma de *unidades de produção*.
- Quais culturas a serem plantadas, com suas respectivas áreas máxima e mínima e sistemas de irrigação a serem adotadas para cada unidade de produção.
- A utilização de pomares consolidados e em consolidação.
- A variação da resposta do sistema à séries temporais extremas de seca e chuva com relação a níveis de anos normais e médios.

III - Com relação às regras operacionais foram efetuadas análises para:

- Diferentes volumes iniciais dos reservatórios;
- Diferentes vazões de regularização para o Rio Grande do Norte.

Com os resultados relativos ao cenário considerado padrão, o qual caracteriza-se por período climático médio e volume inicial dos reservatórios com 60% de sua capacidade máxima, fez-se uma simulação com dados climáticos de 30 anos para verificação do número de falhas que poderiam ocorrer no período, ou seja, em quantos anos o sistema não conseguiria atender as necessidades hídricas das culturas cujas áreas cultivadas foram determinadas usando o processo de otimização. A partir dos resultados obtidos, flexibilizou-se a sustentabilidade hídrica permitindo, aos reservatórios no final de cada ano simulado atingir um nível correspondendo 60% e 40% da capacidade máxima do reservatório.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado de forma resumida o estado da arte de programação linear aplicada a recursos hídricos e planejamento agrícola, bem como serão feitos alguns comentários sobre outras técnicas de análise de sistemas como simulação, não linear e dinâmica.

De acordo com Yeh (1985), e Braga *et al.* (1998), na análise de sistemas de recursos hídricos destacam-se duas classes de modelos, otimização e simulação.

YEH, (1985) assegura que nos últimos vinte anos, um dos avanços mais importantes feito na área de recursos hídricos é o desenvolvimento e adoção de técnicas de otimização para planejar, projetar e administrar sistemas de recursos hídricos complexos. A análise de sistemas de recursos hídricos complexos pode envolver milhares de variáveis de decisão e restrições.

Conforme Braga Jr. (1987) a pesquisa operacional foi introduzida pelos militares para solucionar problemas operacionais durante a segunda guerra mundial. A pesquisa operacional, tendo por base a análise de sistemas, quando aplicada a problemas de planejamento e operação de recursos hídricos, consiste na decomposição dos mesmos em cinco etapas:

- 1<sup>o</sup>) Definição dos objetivos;
- 2<sup>o</sup>) Formulação de medidas quantitativas dos objetivos;
- 3<sup>o</sup>) Geração de alternativas de solução;
- 4<sup>o</sup>) Quantificação das alternativas;

- 5ª) Seleção da alternativa ótima.

Segundo BRAGA *et al.* (1998) os modelos de *otimização* são algoritmos matemáticos que procuram identificar os pontos máximos ou mínimos da chamada função objetivo representa, por meio de expressões matemáticas, os objetivos estabelecidos na operação. É considerado o maior desafio, para os analistas de sistema de recursos hídricos, a definição dessa função objetivo e análise de suas restrições, principalmente quando o objetivo não é puramente econômico. Para representar qualquer sistema de reservatórios com modelo de otimização e tornar o problema de operação solúvel, torna-se necessário adotar algumas hipóteses e simplificações. Dentre elas, por exemplo, destaca-se a linearização das equações de restrição e da função objetivo, para que possa aplicar a programação linear e haja convergência e solução dessas equações. 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 (objetivos e restrições) são lineares. A programação não linear envolve pelo menos uma equação não linear e a programação dinâmica se aplica quando a função objetivo, linear ou não, apresenta a propriedade markoviana. Onde os componentes básicos do processo de Markov são o "estado" e a "transição", atingidos por uma "decisão". Para operação de reservatório, o armazenamento inicial no começo de cada período de tempo é o estado. A liberação feita em cada período é a decisão, e o sistema faz uma transição de um estado para outro em períodos de tempo sucessivos, (YEH, 1985).

De acordo com YEH (1985) modelos de simulação tem sido usado satisfatoriamente por vários pesquisadores. Contudo, nota-se uma tendência à incorporação de uma técnica de otimização controlando as simulações, de forma a obter algum grau de otimização.

### **Modelos de Programação Linear (PL)**

A programação linear é uma das técnicas de otimização mais conhecidas e mais usadas. O termo linear significa que existe uma linearidade entre as variáveis de decisão das equações que traduzem o problema, e o termo programação está relacionado ao planejamento das atividades.



Segundo Barbosa (1997), a programação linear (PL) é a técnica de otimização mais empregada na área de recursos hídricos devido a sua flexibilidade de adaptação a uma grande variedade de problemas, à enorme facilidade de entendimento quando comparando-se com outras técnicas de otimização, a capacidade de tratar de problemas de grande porte, o que é comum em recursos hídricos e, também, a disponibilidade de pacotes computacionais, com interface comercial, para pronta utilização.

A programação linear (PL) aplicada em estudos de recursos hídricos, varia desde problemas relativamente simples de alocação direta de recursos até situações complexas de gerenciamento e operação de reservatórios com múltiplos usos. De acordo com BRAGA *et al.* (1998) em certas hipóteses, problemas não lineares podem ser linearizados e resolvidos por iterações ou procedimentos de aproximação. A Programação Linear também pode apresentar algumas variantes: com a incorporação de aleatoriedades das vazões afluentes, originando a chamada (PL) estocástica, esta técnica foi aplicada por (Manne e Loucks *apud* BRAGA, *et al* 1998).

Conforme BRAGA *et al.* (1998) a extensão da técnica para sistemas de reservatórios múltiplos foi feita inicialmente por Hermann (1970). Hermann (1971) utilizou o método no dimensionamento e operação de um sistema composto de vários reservatórios, num estudo comparativo com outras técnicas. Uma apresentação bastante didática da PL, com restrições probabilística, pode ser vista no trabalho de Strobel (1979).

Algumas experiências utilizando a Programação Linear (PL):

Curi e Curi (1998) desenvolveram uma metodologia via programação linear para a otimização integrada dos reservatórios de Coremas e Mãe D'água, considerando o comportamento físico dos reservatórios, aplicada à determinação da área irrigada e do volume de água aduzido dos reservatórios Coremas e Mãe D'água, para o perímetro irrigado das várzeas de Sousa - PB, e atribuindo quais as culturas a serem irrigadas.

Almeida (2000) utilizou o modelo CISDERGO 1.1, (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), desenvolvido por Curi e Curi (1999) para otimização do perímetro irrigado de Sousa-PB. O programa utiliza a técnica da Programação linear recursiva, (em ambiente MATLAB), utilizando vários

cenários hidroclimáticos, e atribuindo esses recursos hídricos para as culturas do projeto das várzeas de Sousa - PB.

Dantas Neto (1994), em sua tese de doutorado, desenvolveu um trabalho que teve como objetivo desenvolver e comparar dois sistemas de equações matemáticas, baseado nas funções de resposta das culturas à água, adaptando-as a modelos de programação linear e aplicando-as ao perímetro irrigado de Nilo Coelho, Petrolina-PE. Para alcançar o objetivo proposto foram utilizados dois modelos: um considera a lâmina de água fixa e o outro as lâminas de água alternativas. A função objetivo utilizada no trabalho foi a maximização da receita líquida do projeto e as restrições utilizadas foram as limitações de água, área e a produção das culturas.

Cunha (1999), em sua dissertação de mestrado, apresentou a aplicação de um modelo de programação linear à um sistema composto pelo Reservatório Engenheiro Arcoverde, perímetro irrigado a jusante deste, poços aluviais e a demanda para as cidades de Condado e Malta PB. Este modelo tinha o objetivo de maximizar os benefícios líquidos auferidos pela irrigação de diversas culturas agrícolas. Utilizou o Modelo CISDERGO 1.0 (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), desenvolvido por Curi e Curi (1999). O trabalho apresentou bons resultados, onde foi otimizada a receita líquida do perímetro a partir da disponibilidade da água do reservatório e de poços, ao mesmo tempo em que se garantia a sustentabilidade hídrica do sistema de recursos hídricos.

### **Modelos de Programação Dinâmica (PD)**

Segundo BRAGA, *et al.* (1998) a programação dinâmica (PD) é altamente útil em análise que considera uma seqüência de acontecimentos (escala horizontal) e uma série ou faixas de alternativas (escala vertical) correspondendo a cada etapa da seqüência. Para o gerenciamento de recursos hídricos, a seqüência pode ser um grupo de reservatórios e as alternativas os volumes úteis nos reservatórios, ou a seqüência pode ser um período de intervalos de tempo e as alternativas vazões efluentes de um reservatório.

A técnica da (PD) tem como seu pressuposto básico o princípio de otimalidade de Bellman (Bellman *apud* Braga *et al* 1998). Simplificando, na (PD) cada etapa da seqüência deve considerar somente os resultados das alternativas da etapa anterior. Desta forma, a

melhor solução é encontrada em cada alternativa da etapa considerada e ao chegar ao final da seqüência, são conhecidos, a melhor alternativa e o melhor caminho a ser seguido.

De acordo com Barros (1997) a programação dinâmica propõe as seguintes linhas de raciocínio para solucionar os 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, é o chamado problema multi-estágio, dificultando a busca do ótimo, dado ao seu grande número de possibilidades que devem ser analisadas, (Barros, 1997 e Mélo Jr *et al* 1999).

Conforme Braga *et.al* (1998), ao contrário da programação linear, na programação dinâmica não existe uma formulação matemática padrão para resolução de problemas, é, portanto, necessário desenvolver as equações que se ajustem a cada situação específica. É comum encontrar problemas que podem ser formulados de mais de uma maneira. Parte da habilidade na (PD) depende da escolha da formulação mais eficiente para o problema em questão. Também é o caso de se decidir pela formulação regressiva ou progressiva. O procedimento regressivo é conveniente para solucionar os problemas que envolvem o tempo, pois fornece a política ótima em ordem cronológica e é, também, essencial em problemas estocásticos. O procedimento de solução progressiva é vantajoso quando um problema determinístico tem que ser resolvido várias vezes para diferentes horizontes de planejamento.

A (PD) foi utilizada na operação de reservatórios por diversos autores. Para contornar o problema de dimensionalidade, têm surgido diversas variantes da PD. Programação Dinâmica Incremental (PDI), Programação Dinâmica Diferencial Discreta (PDDD), Braga, *et.al* (1998).

Um modelo de (PD) estocástico foi proposto por Mélo Jr *et.al* (1999) para otimizar o uso da água de um reservatório para fins de regularização, considerando o influxo e a demanda de irrigação como variáveis aleatórias, arranjadas em um processo Markoviano de primeira ordem. O modelo foi aplicado ao reservatório Poção da Ribeira,

estado de Sergipe, e forneceu uma solução ótima para a descarga mensal. Não ocorreram problemas de alocação de memória e de velocidade de processamento quando se utilizaram cinco níveis da variável de estado (volume armazenado), cinco níveis da variável de decisão (descarga) e cinco classes de probabilidades condicionais, em um computador de média capacidade de processamento. Níveis mais elevados dessas variáveis contribuem para se obter soluções mais confiáveis, mas podem comprometer a resolubilidade do modelo. Os resultados obtidos por este modelo coincidem com aqueles encontrados com um modelo estocástico de programação linear no fato de o reservatório poder operar com descarga de aproximadamente  $5\text{hm}^3/\text{mês}$ , em dez meses do ano.

### **Modelos de Programação Não Linear (PNL)**

Modelos de Programação Não Linear (PNL) não tem a mesma popularidade que os modelos de Programação Linear e a Programação dinâmica, em análise de sistemas. Isto está associado particularmente devido ao processo de otimização ser normalmente muito mais lento que a PL e não garantir que a solução seja um ótimo global. A matemática envolvida nos modelos de Programação Não Linear é muito mais complicada que nos casos de Programação Linear, (Maass *apud* YEH 1985).

Curi e Curi (2000) desenvolveram o modelo ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program), via programação não linear (PNL), em ambiente MATLAB, aplicado por Câmara (2000) para a operação e otimização da água dos reservatórios de Coremas e Mãe d'água, quantificando-a para múltiplos usos. Este programa também já foi utilizado para otimização da operação do sistema de reservatórios em série de Jucazinho e Carpina (Andrade, 2000), e em paralelo Tapacurá, Goitá e Várzea do Uma (Luna, 2001), na bacia do Rio Capibaribe, PE. Utilizou-se de vários cenários hidroclimáticos e alocou-se água para diferentes culturas agrícolas.

### **Simulação**

Segundo Braga, *et.al* (1998) os modelos de *simulação* são conjuntos de expressões matemáticas estruturadas em uma seqüência lógica, que descrevem a operação do sistema de forma mais detalhada possível com a finalidade de fornecer informações para avaliar o comportamento do sistema real. O modelo de simulação não pode gerar diretamente uma solução ótima para um problema de reservatório. Porém, quando se faz várias simulações

de um modelo com políticas de decisão alternativas é possível uma solução ótima ou próxima do ótimo.

Conforme Simonovic (1992), modelo de simulação normalmente é caracterizado como uma representação de um sistema físico onde prevê a resposta do sistema sob de um determinado jogo de condições. Um modelo de simulação típico para um sistema de recursos hídricos simplesmente é um modelo que simula a operação do sistema com influxos especificados em todos os locais durante cada intervalo de tempo considerado, características de sistema especificadas e regras operacionais especificadas (Barba *apud* Yeh 1985).

Algumas vantagens das técnicas de simulação estão no fato de ser aplicável a sistemas complexos e aceitar quaisquer equações de restrição. Ao contrário dos modelos otimizantes, os modelos de simulação não determinam a política ótima de operação. Uma solução satisfatória, muitas vezes erroneamente chamadas de ótimas, é encontrada iterativamente, processando diversas simulações alternativas e comparando seus desempenhos. Sua obtenção depende, geralmente, da experiência e sensibilidade do usuário/operador. Em geral, todos os modelos de simulação para operação de sistemas de reservatórios múltiplos, com finalidades múltiplas, baseiam-se em algumas regras de operação. Essas regras definem o volume de água a ser descarregado em um período em função das vazões afluentes e do nível do reservatório. Tais regras incluem quatro elementos básicos: 1) Níveis ou volumes-meta, 2) Zoneamento múltiplo, 3) Banda de defluência e 4) Curvas-guia condicionais, (Loucks e Sigvaldason, 1982)

Um dos mais tradicionais modelos de simulação de recursos hídricos é o HEC-5, que foi desenvolvido para fornecer subsídios no dimensionamento e operação de sistemas de reservatórios. Um outro modelo de simulação conhecido é o SIMYLD-II (Texas Water Development Board, 1970), semelhante ao HEC-5, porém com a utilização de um algoritmo otimizante, o qual diminui os desvios em relação a uma meta pré-estabelecida. Existe ainda disponível o modelo ACRES (Sigvaldason, 1976) que é uma extensão dos modelos utilizados no HEC-5 e SIMYLD-II. O modelo ACRES foi transformado no ARSP- Acres Reservoir Simulation Program que inclui a análise estocástica das vazões, (Braga *et.al* 1998).

## MODELOS COM MÚLTIPLOS OBJETIVOS

Segundo Braga *et.al* (1998) algumas abordagens de seleção de alternativas de projeto baseada na análise técnico-econômica, através da análise benefício-custo, tem sido substituída por uma abordagem mais abrangente que considera múltiplos objetivos. Embora mais complexa, trata-se de uma tendência internacional irreversível representando um marco de evolução das sociedades, especialmente impulsionada pela conscientização quanto aos problemas ambientais e sociais.

Com grande suporte em modelagem matemática, a abordagem multiobjetivo justifica-se por:

- Permitir organizar melhor as informações e o papel de cada participante nas etapas decisórias;
- Permitir evidenciar os conflitos entre objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles;
- Possibilitar o tratamento de cada objetivo na unidade de mensuração mais adequada, sem a distorção introduzida pela simples conversão em unidades monetárias como feito na análise benefício-custo;

De acordo com Braga, *et al.* (1998) os conceitos básicos e terminologias e alguns cuidados a serem observados na leitura de textos sobre as técnicas multiobjetivo referem-se a uma conclusão corriqueira no âmbito do planejamento e gestão de recursos hídricos quanto ao emprego dos termos objetivos e propósitos. Segundo Braga, (1987) para um empreendimento hídrico, por exemplo, um reservatório é de múltiplos usos quando atende a usuários de diferentes setores, tais como: produção de energia elétrica, irrigação, abastecimento de água, controle de cheias, etc. Por uma outra visão, o empreendimento é de múltiplos objetivos quando atende a diversos objetivos, tais como: eficiência econômica, redistribuição e renda, qualidade ambiental, etc.

## SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO (SSD)

Segundo Braga *et al.* (1998) a tomada de decisão é um tipo particular de processamento de informações que resulta na escolha de um plano ou ação. O sistema de processamento de informações pode ser humano (individual ou grupo), máquina ou sistema contendo a participação de ambos, o homem e a máquina. Simon *apud* Braga *et al.* (1998) descreve a tomada de decisão como um processo envolvendo três estágios: inteligência, elaboração e escolha. A inteligência refere-se a procura de situações que

precisem de decisões. São obtidos dados brutos que são processados e examinados em busca de pistas para a identificação de problemas. A elaboração é a organização, desenvolvimento e análise dos possíveis rumos de ação. Isto envolve processos para a compreensão do problema, geração de soluções e realização de testes quanto a sua aplicabilidade. Finalmente, a escolha é a seleção de um rumo de ação específico dentre os disponíveis. A escolha é feita e, em seguida, implementada.

Muitas vezes poderá ser interessante ou mesmo necessária a utilização de métodos matemáticos para a tomada de decisão. Os modelos nos permitem simular um cenário, ou seja, o decisor pode ter uma visão do que poderia ocorrer se uma determinada atitude fosse tomada.

Conforme Braga *et al.* (1998) uma das críticas freqüentes que os sistemas de apoio à decisão tem recebido é quanto a falta de teoria. De fato, não há, no sentido estritamente acadêmico do termo, teoria na concepção de um SSD. Entretanto, existem estruturas conceituais ou modelos mentais que os profissionais da área usam para organizar seus pensamentos e orientar suas ações. Um dos principais conceitos desta estrutura é que a tecnologia para SSD consiste num conjunto de recursos nas áreas de diálogo, dados e construção de modelos, o que (Sprague e Carlson *apud* Braga *et al.* 1998) chamam de paradigma DDM (Diálogo, Dados, Modelos). Os autores argumentaram que um sistema de apoio à decisão típico tem que haver um equilíbrio entre esses três elementos. Uma outra característica que o sistema deve ter é a facilidade no seu uso, a fim de proporcionar interação com usuário não técnico, que tem pouca experiência computacional.

Em geral, um sistema de apoio à decisão é constituído de três componentes: diálogo, dados e modelos. O diálogo é a interface entre o usuário e o sistema, os dados servem de suporte ao sistema e os modelos proporcionam os recursos para análises.

De acordo com Porto (1997) modelos são componentes essenciais de SSDs. Embora a base de informações seja o núcleo de um SSD, é a utilização de modelos que diferencia um sistema de suporte a decisões de um simples banco de dados. Outras vantagens da aplicação de modelos em SSDs são apresentadas a seguir:

- A análise do sistema real (quando possível) é muito mais cara do que a utilização de modelos.

- O custo de cometer erros e/ou realizar experiências com o sistema real é incomparavelmente maior do que o custo da exploração intensiva do modelo.
- Modelos são ferramentas de aprendizado uma vez que processos de tentativa e erro podem ser explorados "gratuitamente" e não só contribuem para a melhor compreensão do sistema, mas também estimulam a concepção de novas idéias e linhas de ação.
- Modelos são instrumentos muito eficientes para treinamento quando desenvolvidos ou adaptados especificamente para esta finalidade.
- Modelos conferem flexibilidade às análises porque:
  - a) "encurtam" o tempo porque permitem que muitos anos sejam analisados em tempos extremamente curtos.
  - b) diferentes alternativas podem ser analisadas, muitas vezes mediante simples alterações de parâmetros.

Dispõe-se hoje dos mais variados tipos de modelo, aplicáveis às mais diversas situações. Os critérios que devem orientar a escolha de um modelo e foi condensado do trabalho de Oren *apud* Porto (1997) que procurou apontar atributos indicadores de qualidade e adequação de modelos. Alguns critérios para escolha de modelos:

- *Precisão*: é a primeira condição a ser observada. O modelo deve representar a realidade de forma suficientemente próxima para permitir a tomada de decisões com base em seus resultados. Os principais métodos de validação de modelos são:
  - a) *subjetivos*: em que a precisão é avaliada diretamente pela comparação dos resultados do modelo com dados reais;
  - b) *objetivos*, em que se procura minimizar (ou maximizar) uma função critério que mede os desvios do modelo em relação aos dados observados;
  - c) mistura dos métodos anteriores.
- *Simplicidade*: modelos simples são mais facilmente compreendidos e aceitos. Simplicidade no caso, significa um número reduzido de parâmetros e variáveis, além de uma estrutura que representa somente a essência do sistema. Número elevado de parâmetros causam inúmeras dificuldades para calibração, validação e análise de sensibilidade.
- *Robustez*: é a capacidade do modelo de representar bem a realidade com o menor número possível de parâmetros. Em outras palavras diz-se que um modelo é



robusto quando a adição de novos parâmetros não causa melhoria significativa dos resultados. Robustez é uma característica decorrente do balanceamento adequado dos atributos acima. Robustez é desejável porque os modelos devem apresentar bem a realidade quando os dados de entrada forem diferentes dos dados utilizados para a calibração.

- *Transparência:* mesmo que o modelo obedeça aos critérios "técnicos" acima é essencial que o usuário possa testar o modelo e fazer experiências diversas. É desta forma que o modelo ganha a confiança do usuário. A interação modelo-usuário é feita mais comumente pela alteração de dados de entrada e parâmetros, mas deve ficar aberta a possibilidade de introduzir alterações no próprio modelo. A experiência tem mostrado que mesmo quando não são apropriados para o caso em estudo, modelos podem ser úteis se forem transparentes. Através da utilização destes modelos chega-se a uma melhor compreensão do sistema e, por esta via, à proposição de modelos mais adequados. A possibilidade de atuar sobre o modelo cria, também, uma disposição psicológica positiva no usuário, pois ele sente que é parte essencial do processo decisório e que seu papel não está sendo usurpado pelo computador ou pelo analista.
- *Adequação:* transparência será uma qualidade pouco útil se o modelo não dispuser de formas de interação com o usuário que sejam claras, simples e inequívocas. Embora não aparente, esta qualidade é geralmente muito difícil de ser atingida porque depende do tipo do usuário, de sua formação, experiência, conhecimento do problema específico, etc. Na maioria das vezes a interface deve esclarecer e orientar o usuário, sem ambigüidades, sobre a escolha dos parâmetros, bem como o significado e validade dos resultados.

## CAPÍTULO III

### SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

#### 3.1 - O SISTEMA DE RESERVATÓRIOS

O sistema em estudo é composto pelos Reservatórios em paralelo, Coremas (Estevam Marinho) e Mãe D'água, e os perímetros irrigados de Sousa e das margens dos reservatórios. Estes reservatórios estão localizados a oeste do estado da Paraíba, situados no município de Coremas e estão inseridos na Bacia do rio Piancó, entre as coordenadas  $7^{\circ}0'$  e  $7^{\circ}10'$  de latitude sul e  $37^{\circ}50'$  e  $38^{\circ}50'$  de longitude oeste. O perímetro irrigado de Sousa-PB está localizado a  $6^{\circ}19'$  e  $7^{\circ}06'$  de latitude sul e  $37^{\circ}55'$  e  $38^{\circ}46'$  de longitudes oeste. Região inserida na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, que é uma sub-bacia do rio Piranhas e possui uma extensão superficial de  $3.498 \text{ km}^2$ . A área em estudo é limitada ao norte pelo rio do Peixe, ao sul pelo rio Piranhas, ao leste pelo município de Aparecida e São Domingos, e a oeste pela cidade de Sousa e o Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

O sistema de reservatórios está situado em uma região semi-árida, que apresenta uma distribuição de chuva irregular. A média pluviométrica anual é em torno de  $800 \text{ mm}$  e a evaporação anual é superior aos  $2.300 \text{ mm}$ . O período chuvoso concentra-se nos meses de janeiro a março. A temperatura média anual fica em torno dos  $27^{\circ}\text{C}$ . O clima segundo a classificação de Köppen a classificação é do tipo Aw, que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas de verão e outono.

A tabela 3.1 mostra as características gerais do sistema de reservatórios de Coremas e Mãe d'Água. Esses dois reservatórios são considerados um sistema, pois, os dois

reservatórios funcionam isoladamente até a cota 230 m, a partir da cota 230 m possui um canal (túnel) de ligação de Coremas para Mãe d'Água. A figura 3.1 apresenta as curvas de cota x área e cota x volume do reservatório a partir da cota 202 até a sua máxima cota de armazenamento, cota 245, dados esses retirado do trabalho de (Luna, 1999).

Tabela 3.1 – Dados referentes as capacidades dos reservatórios Coremas e Mãe D'água.

	Coremas	Mãe d'Água	Total
Capacidade de Armazenamento na (cota 245)	720.000.000 m <sup>3</sup>	648.000.000 m <sup>3</sup>	1.368.000.000 m <sup>3</sup>
Bacia Hidráulica	59.200 km <sup>2</sup>	56.200 km <sup>2</sup>	115.400 km <sup>2</sup>
Profundidade Máxima	39 m	41,5 m	

Fonte: Agrossolos, 1997

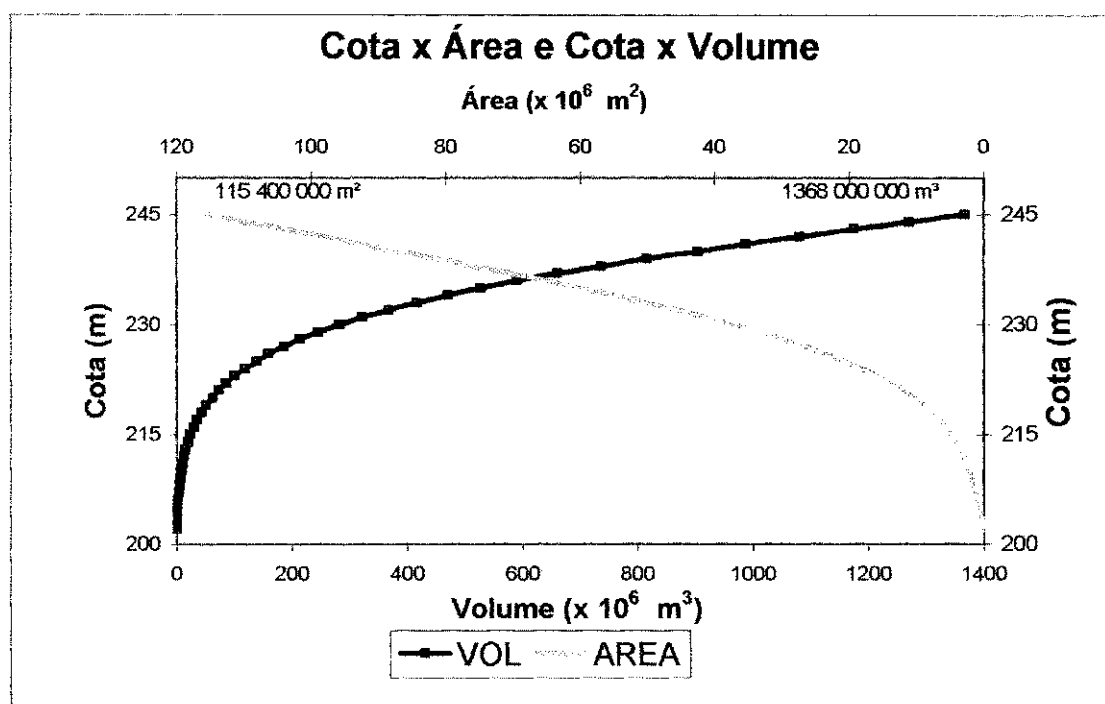
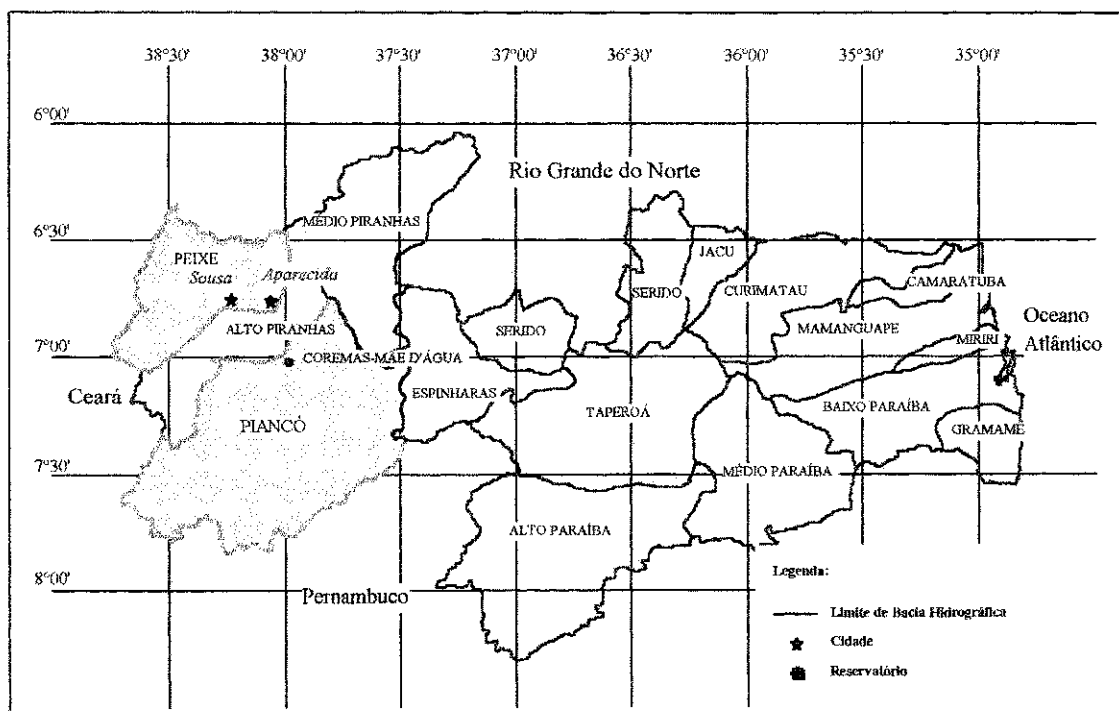


Figura 3.1 – Curva de relação: Cota x Área x Volume do reservatório de Coremas e Mãe D'água.

O sistema de reservatórios foi construído pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra Secas). Projeto esse que durou oito anos (1935 a 1943) para ser concluído. Foi elaborado com o objetivo de oferecer à população uma garantia de disponibilidade de água à região. Uma estrutura hidráulica com capacidade para combater efeitos das secas periódicas e assim minimizar as conseqüências das irregularidades das chuvas no semi-árido, e também garantir o aproveitamento hidroagrícola das várzeas de Sousa-Pb, e às margens dos reservatórios.

Alem de garantir a disponibilidade de água utilizada para abastecimento humano, o projeto também tem como benefícios a regularização de vazão à jusante, a geração de energia elétrica, pelo acúmulo de água nos reservatórios, a piscicultura e a irrigação. O sistema funciona da seguinte forma: do reservatório Coremas é retirada a água para abastecimento humano, geração de energia elétrica e a liberação de água a jusante para perenização do rio Piancó, vazão essa de acordo com o a proposta do projeto do sistema Coremas e Mãe d'Água (vazão mínima de  $4\text{m}^3/\text{s}$ ), do reservatório Mãe d'Água é feita a captação para atender as áreas irrigadas as margens dos reservatórios e para o perímetro de irrigado das várzeas de Sousa-PB, além de ter o extravasor do sistema.

A figura 3.2 mostra a localização do estudo, entre as cidades de Sousa e Aparecida na bacia do rio do peixe está localizado o perímetro irrigado das várzeas de Sousa. Os reservatórios estão localizados próximo a cidade de Coremas.



Fonte: LMRS, 1998.

Figura 3.2 – Bacias hidrográficas do estado da Paraíba com a localização da cidade de Sousa e dos reservatórios

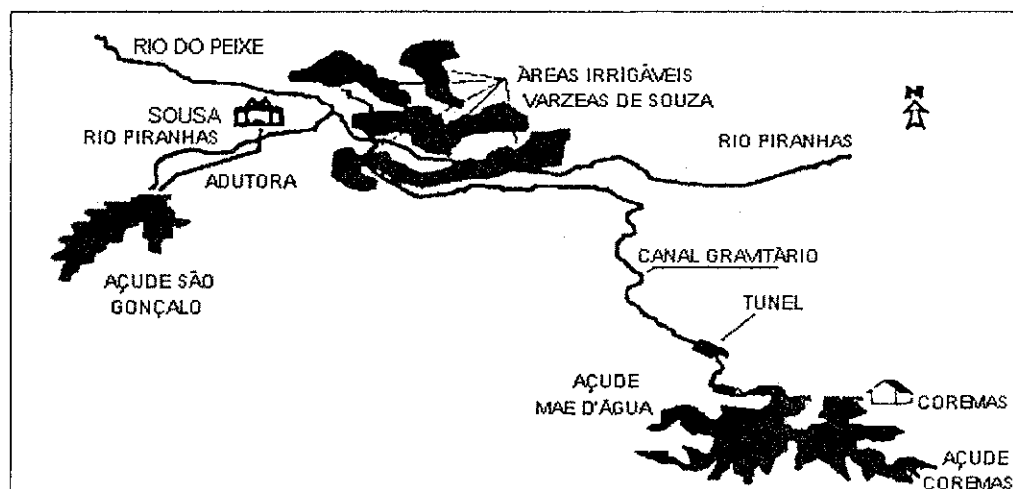
### 3.2 - CANAL DE ADUÇÃO DAS ÁGUAS DO SISTEMA COREMAS/MÃE D'ÁGUA PARA AS VÁRZEAS DE SOUSA

O canal de adução das águas do sistema Coremas/Mãe d'Água para as várzeas de Sousa, popularmente chamado de canal da Redenção, foi construído com a finalidade de levar água do reservatório de Mãe d'Água para as Várzeas de Sousa e, assim, atender a demanda da agricultura irrigada. Canal esse com a estrutura descrita na Tabela 3.2 e na Figura 3.3.

Tabela 3.2 - Estrutura do canal da Redenção

Extensão de 37 km
Forma trapezoidal com base inferior igual a 2 m, altura de 2,25 m
Borda livre de 0,76 m
Taludes internos de 1:1 e taludes externos de 1:1,5
Coefficiente de Manning (n) igual a 0,014
Declividade de 0,0001
Vazão máxima de 4 m <sup>3</sup> /s.

Fonte: Agrossolos, 1997



Fonte: Evangelista, 1998

Figura 3.3 - Layout do canal Coremas /Mãe D'água – Sousa (canal da Redenção)

A Figura 3.4 mostra um layout do sistema em estudo mostrando algumas de suas características.

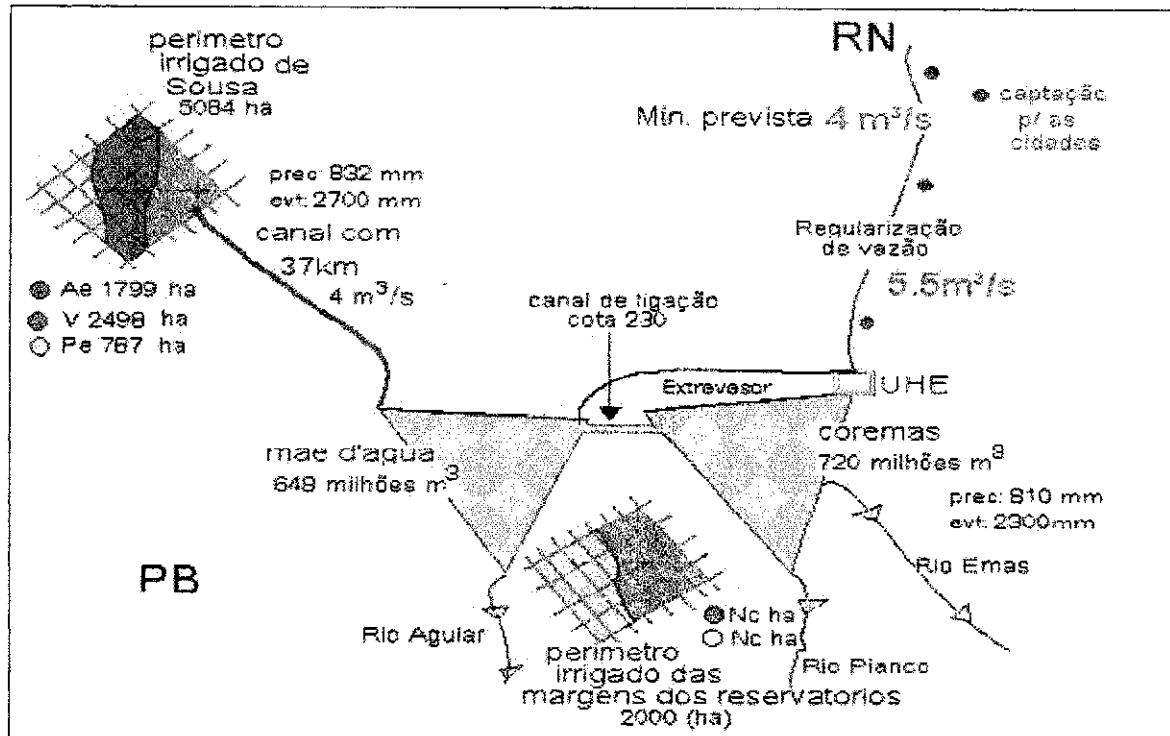


Figura 3.4 – Layout do sistema em estudo

3.3 – DADOS REFERENTES AOS PERÍMETROS IRRIGADOS:

- *Perímetro referente às margens dos reservatórios de Coremas e Mãe D'Água.*

Os solos das margens dos reservatórios com aptidão agrícola para a irrigação estão inseridos em duas manchas de solos classificadas como Bruno não Cálculo, com sua variação de textura de argilosa a média pedregosa, profundidades média de 0,60m e relevo plano a suave ondulado, capacidade de uso de solos, grupo A, classe IV, terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens, reflorestamento e vida silvestre. São citadas duas manchas de solos que possuem áreas totais de 316,52ha, porém são utilizados aproximadamente 2000ha, de acordo com a Tabela 3.3 e a Figura (3.5), PDRH-PB ,1998

Tabela 3.3 - Tipos de solos utilizados e áreas, da bacia do rio piancó.

Unidades de Solo	Areas	Tipos de solos
NC 7	500 ha	Bruno Não Cálculo
NC 10	1500 ha	Bruno Não Cálculo

PDRH-PB, 1988.

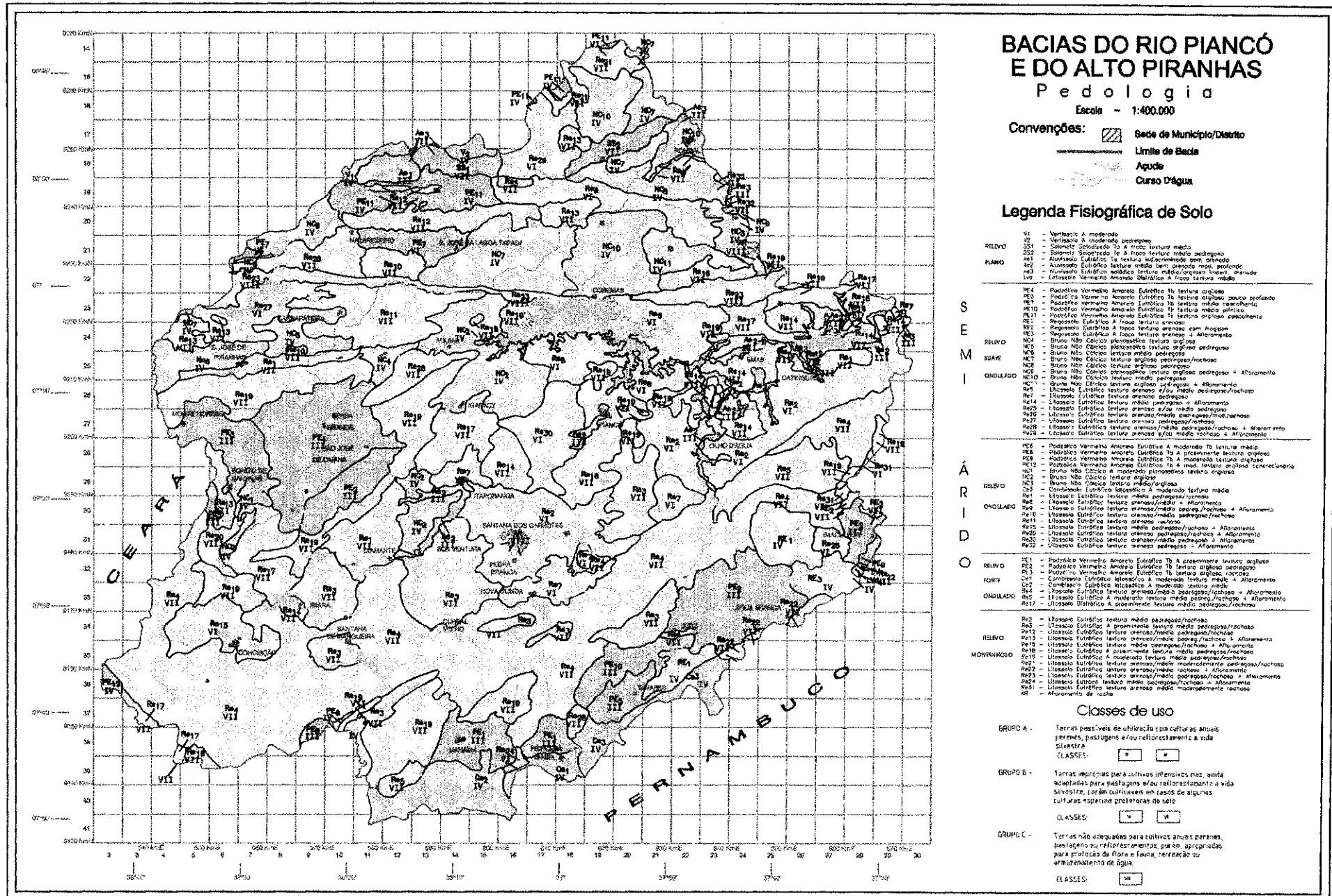


Figura 3.5 - Solos da bacia do rio Piancó e Alto Piranhas.

*- Perímetro irrigado referente às Várzeas de Sousa.*

O perímetro proposto pelo governo está sendo instalado no vale do Rio Piranhas, próximo a cidade de Sousa. Segundo o Governo do Estado da Paraíba constitui-se em uma das regiões mais promissoras para a exploração da agricultura irrigada no Estado. A região das Várzeas de Sousa, como é usualmente chamada, é composta de terras com aptidão para a prática da agricultura irrigada, apresentam na sua maioria, solos típicos de várzeas e topografia ligeiramente plana.

O Governo do Estado da Paraíba estima que a vazão transportada pelo canal irrigará até 5.000 ha de terras, com o uso de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento). Segundo o projeto, a área também será dotada de um sistema de drenagem adequado e medidas necessárias para evitar possíveis problemas com o processo de irrigação e com o meio ambiente, (Agrossolos, 1998).

Caberá ao órgão gestor (Governo) a responsabilidade pelo planejamento e gestão desse projeto após a construção da infra-estrutura de irrigação proposta. E caberá aos órgãos estaduais a divisão de lotes ou unidades de produção assim como a responsabilidade da outorga aos irrigantes, a autorização para o uso da terra e ações no perímetro e a implementação dos processos de produção. A administração será feita na forma de condomínio e organizada pelos próprios irrigantes.

Segundo o Governo do Estado da Paraíba, o projeto tem como objetivo:

- Impulsionar e dinamizar a agricultura na área de sua influência direta, com efeito positivo sobre a economia regional, através de ações voltadas para o desenvolvimento agrícola e agro-industrial;
- Promover o desenvolvimento agrícola na área irrigada das Várzeas de Sousa;
- Utilizar racionalmente os recursos de solo, água e infra-estrutura para o incremento real da produção;
- Diversificar a produção agrícola e agro-industrial, permitindo o abastecimento interno e o desenvolvimento da agroexportação;
- Aumentar o número de emprego e de renda na área rural;
- Melhorar a distribuição de renda.

As metas a serem atingidas pelo Governo são:

- Implantar 5.000 ha de fruteiras irrigadas;
- Criação de cerca de 15.000 empregos diretos e 30.000 indiretos;
- Produzir cerca de 100.000 toneladas de frutas por ano;



- Proporcionar a obtenção do valor bruto de produção da ordem de 50 milhões de reais por ano;
- Possibilitar a expansão da rede relacionada aos agronegócios, isto é, serviços de venda e revenda de fertilizantes, defensivos, sementes, mudas e máquinas agrícolas, elaboração de projetos e assistência técnica, implantação e ampliação de agroindústria, capacitação e treinamento de pessoal, transporte de mercadoria e passageiro, construção civil, serviço de hotelaria, turismo e lazer.

Segundo a EMEPA (1998) a área total de influência do estudo é de 13.568,81 ha onde 10.331,92 ha são terras classificadas como aptas para irrigação. No levantamento de solo realizado, foram identificados 5.084 ha com manchas de solos com aptidão agrícola e relevo apropriado para a agricultura irrigada, as quais foram distribuídos em 382 lotes, para exploração conjunta ou individual, conforme Figura (3.6).

Garófalo *et al* (1998), em um trabalho que teve como objetivo avaliar a fertilidade dos solos da região de Sousa, cita a importância dos Vertissolos, dos solos Aluviais eutróficos e dos Podzólicos Vermelho-Amarelo eutrófico, das áreas circunvizinhas do canal Coremas/Sousa nas atividades agrícolas a serem desenvolvidas nesta região com o uso da irrigação. Foram analisadas, quimicamente, amostras de terra dos horizontes superficiais e subsuperficiais de vários perfis. Em geral, essas amostras de terra apresentaram valores de pH variando entre moderadamente ácido e alcalino, altos teores de  $\text{Ca}^{++}$   $\text{Mg}^{++}$ , teores de  $\text{K}^+$  e  $\text{P}$  variando entre baixo e alto, CTC variando de moderada a muito alta e baixos teores de matéria orgânica. O estudo mostrou que ocorrem problemas de salinidade ( $\text{CEes} > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ ) e sodicidade ( $\text{PST} > 8\%$ ) em, aproximadamente, 19% e 52% da área estudada, respectivamente. Este estudo mostra que terá que haver uma certa preocupação com relação a salinidade desses tipos de solos, obrigando os futuros usuários a fazerem o manejo correto dos sistemas e processos de irrigação.

Segundo o estudo de solos realizado por Agrossolos (1998), a área citada possui quatro tipos de solos (Aluviais, Vertissolos, Podzólicos e Regossolos). Havendo para cada um desses tipos de solo, diferenças no que diz respeito a textura, variando entre argiloso, siltoso e arenoso, profundidade e composição orgânica. Desses quatro tipos de solos, três possuem aptidão agrícola recomendada para irrigação, (Aluviais, Vertissolos, Podzólicos), já a mancha de solo Regossolo não possui aptidão agrícola satisfatória para a prática de

irrigação. No que se refere a aptidão dessas áreas citadas no relatório das várzeas de Sousa, há possibilidade de cultivo de todas as culturas climaticamente adaptadas (policultura). Para os fatores de manejo se prevê a necessidade de drenagem eficiente para evitar salinização, sodificação e lixiviação, e adubação orgânica para melhorar a estrutura do solo. Na Tabela 35 são apresentadas as áreas de influência das manchas de solo inseridas no projeto das várzeas de Souza segundo (EMEPA, 1998).

Para a definição e melhor aproveitamento do perímetro irrigado de Sousa foram determinados três unidades de produção baseados nas manchas de solos e suas respectivas aptidões agrícolas, para a determinação de quais culturas poderiam ser ali implantadas. Para isso foram realizadas sobreposições das cartas de solos, aptidão agrícola e das divisões parcelares digitalizadas, que constam na síntese do projeto das várzeas de Sousa, Emepa (1998). Com a utilização do software Autocad foi possível gerar a carta da Figura 3.6 e a definição das áreas que constam na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Unidades de solos das várzeas de Sousa.

Unidades de Solo	Áreas	Tipos de solo
Ae	1.799 ha	Aluviais eutrófico
V	2.498 ha	Vertissolos
PE	787 ha	Podzólico eutrófico

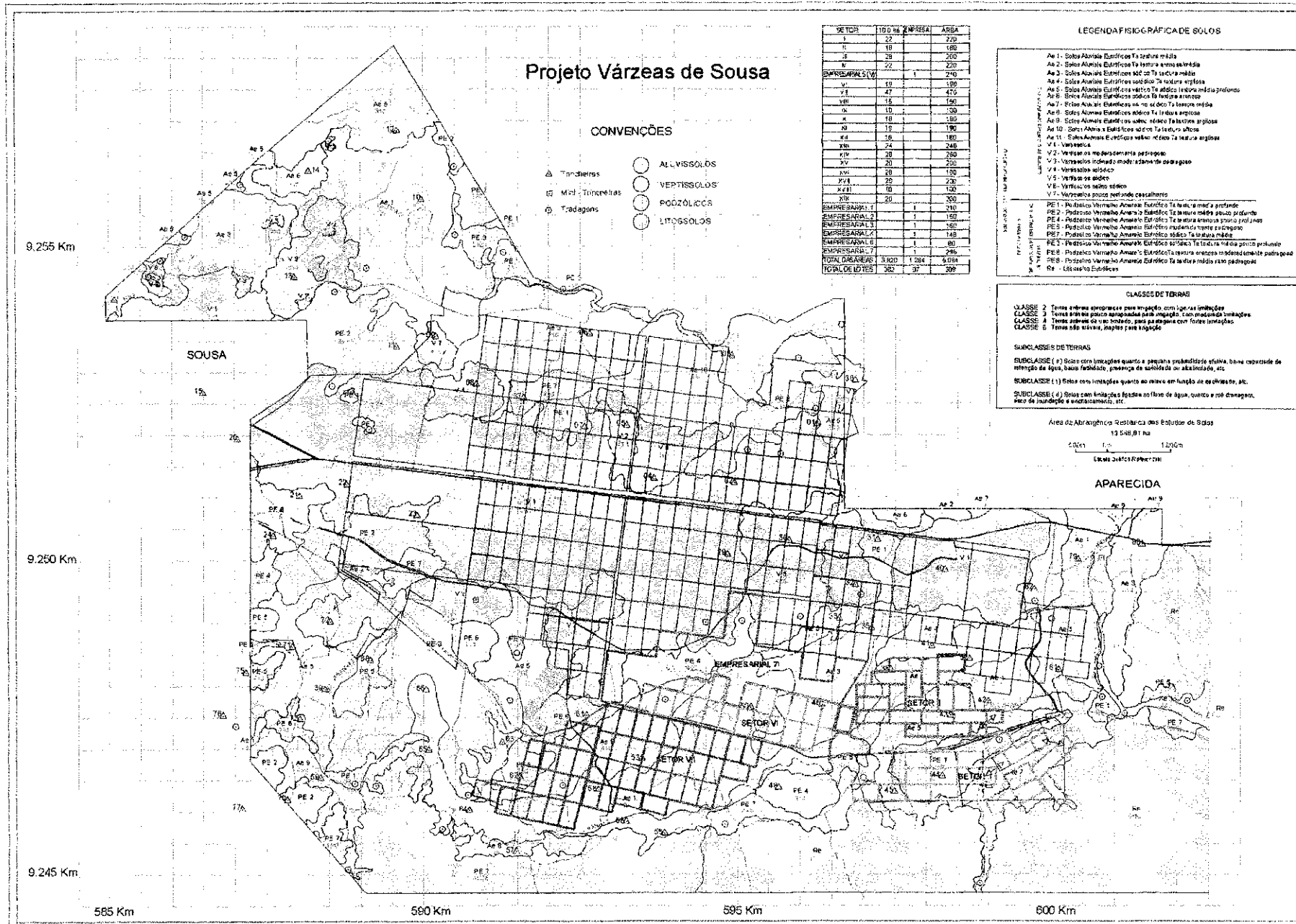


Figura 3.6 - Solos, aptidão agrícola e distribuição parcelar do projeto várzeas de Sousa.

Tabela 3.5 - Unidades de solos - Resumo dos tipos de solos e suas características, para aptidão e manejo das culturas irrigadas.

Unidades de Solo	Características do solo, topografia drenagem	Aptidão cultural	Fatores de manejo
Ae1 1701.14ha 12.50%	Solo Aluviais, textura média, fertilidade natural alta, plano, não pedregoso, moderadamente drenado, boa capacidade de armazenamento de água, baixos valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e CE (Normais)	Possível o cultivo de todas as culturas climaticamente adaptadas. - Policultura (manga, goiaba, uva, melão, melancia, graviola, banana, coqueiro, palmito, pimenta do reino, laranja, limão, milho, feijão)	Se prevê necessidade de drenagem Manejo eficiente para evitar salinização e sodificação.
Ae2 34.41ha 0.30%	Solos Aluviais, textura arenosa/média, fertilidade natural alta, plano, bem drenado, moderada capacidade de armazenamento de água baixos valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e CE (normais com tendência a sodificação).	Possível o cultivo de todas as culturas climaticamente adaptadas - Policultura (manga, goiaba, uva, melão, melancia, mamão, banana, coqueiro, milho, feijão, maracujá, limão, laranja).	Adubação orgânica para melhorar a estrutura.
Ae3 1075.11ha 8.00%	Solos Aluviais, textura média, fertilidade natural alta, plano, moderadamente drenado, boa capacidade de armazenamento de água, valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e CE, com forte tendência a sodificação e com riscos de inundação.	Possível o cultivo de todas as culturas, climaticamente adaptadas. - Policultura (manga, goiaba, uva, melão, melancia, graviola, coqueiro, palmito, pimenta do reino, milho, feijão, algodão).	Necessidade de drenagem lixiviação
Ae4 87.23ha 0.60%	Solos Aluviais, textura argilosa, fertilidade natural alta, plano, imperfeitamente drenado, boa capacidade de armazenamento de água, os horizontes inferiores apresentam valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e CE médios. Apresenta riscos de inundação.	Possível o cultivo de todas as culturas, de pequeno sistema radicular ou resistente aos sais. (Sorgo forrageiro, algodão, arroz, coqueiro).	Necessidade de drenagem Uso de corretivos, remoção do Na <sup>+</sup> através da aplicação de: . Sais solúveis, como cloreto de cálcio e gesso. . Aplicação de carbonato de cálcio e magnésio, como calcário

Continuação da Tabela 3.5 - Unidades de solos - Resumo dos tipos de solos e suas características, para aptidão e manejo das culturas irrigadas.

Ae5 1168.09ha 8.60%	Solos Aluviais, profundos textura média, fertilidade natural alta, plano, imperfeitamente drenado, boa capacidade de armazenamento de água, altos valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e baixa CE.	Possível o cultivo de culturas tolerantes, ou todas as culturas após correção do solo. - Policultura (palmito, graviola, sorgo, arroz, algodão, coqueiro).	. Necessidade de drenagem. . Aplicação de corretivos e lixiviação. (Cloreto de Cálcio, gesso, enxofre, ácido sulfúrico, calcário dolomítico e calcítico).
Ae6 70.49ha 0.50%	Solos Aluviais, profundos textura arenosa, fertilidade natural média, plano, drenagem moderada a rápida, baixa a média capacidade de armazenamento de água, altos valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e baixa CE. Apresenta riscos de inundação.	Possível o cultivo de culturas tolerantes, ou todas as culturas após correção do solo. - Policultura (sorgo forrageiro, coqueiro, palmito, algodão)	Adubação orgânica lixiviação e aplicação de corretivos. "Idem, indicações anteriores"
Ae7 240.47ha 1.80%	Solos Aluviais, profundos, textura média fertilidade natural alta, plano, imperfeitamente drenado, média capacidade de armazenamento de água altos valores de 100 Na <sup>+</sup> /T e CE. Apresenta riscos de inundação.	Possível o cultivo de culturas tolerantes, ou todas as culturas após correção do solo.	Necessidade de drenagem. Lixiviação e aplicação de corretivos. "idem indicações anteriores".
Ae8 56.73ha 0.40%	Solos Aluviais, profundos, plano, textura argilosa, fertilidade natural alta pH alcalino, 100 Na <sup>+</sup> /T alto, CE baixo, boa capacidade de armazenamento de água. Apresenta riscos de inundação.	Possível o cultivo de culturas tolerantes, ou todas após correção do solo.	- Necessidade de drenagem. - lixiviação e aplicação de corretivos. "idem indicações anteriores". - Necessidade de nivelamento.
Ae9 387.43ha 2.90%	Solos Aluviais, profundos, plano, textura argilosa, fertilidade natural alta, pH alcalino, 100 Na <sup>+</sup> /T alto, CE alto/médio alta capacidade de armazenamento de água. Apresenta riscos de inundação.	Possível o cultivo de culturas tolerantes, ou todas após lixiviação e correção do solo.	- Necessidade de drenagem. - Necessidade de nivelamento. - lixiviação e aplicação de corretivos. "idem indicações anteriores".

Continuação da Tabela 3.5 - Unidades de solos - Resumo dos tipos de solos e suas características, para aptidão e manejo das culturas irrigadas

Ae10 407.16ha 3.00%	Solos Aluviais, textura siltosa, fertilidade natural alta, plano, pH ácido, 100 Na+/T baixo, CE alta, alta capacidade de armazenamento de água apresenta riscos de inundação	Após correção, é possível o uso de todas as culturas.	- Aração profunda - Nivelamento do terreno. - Aplicação de corretivos. "idem indicações anteriores".
Ae11 88.49ha 0.60%	Solos aluviais textura argilosa imperfeitamente drenado, alta fertilidade natural. Apresentam valores de 100 Na+/T e CE altos a partir da segunda camada.	Após correção é possível o uso agrícola.	Lixiviação aplicação de corretivo.
V1 2542.73ha 19.00%	Vertissolos, textura argilosa, fertilidade natural alta, presença de sais solúveis e alcalinidade em níveis toleráveis na parte inferior do perfil, relevo plano com ligeiras ondulações, alta capacidade de armazenamento de água.	- Possível o cultivo de culturas que preferem solos argilosos. - Policultura (manga, uva, goiaba, graviola, banana, sorgo, palmito, pimenta do reino, algodão, milho, feijão).	- Necessidade de drenagem - Aração e gradagem em condições de umidade em ponto ótimo. Nivelamento moderado (sistematização).
V2 354.19ha 2.60%	Vertissolo textura argilosa plano, fertilidade natural alta, presença de sais solúveis e alcalinidade em níveis toleráveis. Relevo plano com ligeiras ondulações, alta capacidade de armazenamento de água.	Culturas que preferem solos pesados. - Policultura (manga, uva, goiaba, graviola, banana, sorgo, algodão, milho, feijão)	- Necessidade de drenagem. - Aração e gradagem em condições de umidade em ponto ótimo. - Nivelamento moderado (sistematização).
V3 169.24ha 1.20%	Vertissolo, textura argilosa a muito argilosa, fertilidade natural alta, presença de alcalinidade, alta capacidade de armazenamento de água.	- Culturas que preferem solos pesados. - Policultura (melão, melancia, algodão, milho, feijão, sorgo)	- Necessidade de drenagem. - Aração e gradagem em condições de umidade em ponto ótimo - Nivelamento (sistematização) - Aplicação de corretivos.

Continuação da Tabela 3.5 - Unidades de solos - Resumo dos tipos de solos e suas características, para aptidão e manejo das culturas irrigadas.

V4 85.29ha 0.60%	Vertissolo, textura argilosa, a muito argilosa, fertilidade alta, alcalino, alta capacidade de armazenamento de água, relevo plano com ligeiras ondulações, profundos a moderadamente profundos.	- Culturas que preferem solos pesados. - Policultura (melão, melancia, algodão, milho, feijão, sorgo)	Necessidade de drenagem. - Aração e gradagem em condições de umidade em ponto ótimo. - Nivelamento (sistematização) - Aplicação de corretivos.
V5 298.46ha 2.20%	Vertissolo, textura argilosa a muito argilosa, plano, fertilidade natural alta alcalino, alta capacidade de armazenamento de água, moderadamente profundo.	- Culturas que preferem solos pesados. - Policultura (melão, melancia, algodão, milho, feijão, sorgo).	Necessidade de drenagem - Aração e gradagem em condições ótimas de umidade. Nivelamento (sistematização) Aplicação de corretivos.
V6 129.05ha 0.90%	Vertissolo, textura argilosa a muito argilosa, alta capacidade de armazenamento de água, 100 Na+/T alto, CE alta, moderadamente profundo.	Culturas que preferem solos pesados e de sistema radicular não muito profundo.	- Eficiente sistema de drenagem. - Aração e gradagem em condições ótimas de umidade. - Nivelamento (sistematização) - Lixiviação e aplicação de corretivos
V7 33.25ha 0.20%	Vertissolo, textura argilosa a muito argilosa, relevo suave ondulado pouco profundo, com cascalho.	-Culturas de sistema radicular pequeno.	Eficiente sistema de drenagem. - Remoção do cascalho superficial em alguns trechos.
PE1 175.71ha 1.30%	Podzólicos, plano, profundo, textura arenosa / média, bem a moderadamente drenado, moderada capacidade de água disponível, boa fertilidade.	Possível o cultivo de todas as culturas climaticamente adaptadas. -Policultura (abacate, laranja, limão, maracujá, milho, feijão, banana, pimenta do reino, mamão)	- Incorporação de matéria orgânica -Adubação verde.

Continuação da Tabela 3.5 - Unidades de solos - Resumo dos tipos de solos e suas características, para aptidão e manejo das culturas irrigadas.

PE2 494.91ha 3.60%	Podzólico, plano, profundo, textura arenosa/média, bem a moderadamente drenado, moderada capacidade de armazenamento de água. Fertilidade alta, moderadamente pedregoso.	Possível o cultivo de todas as culturas climaticamente adaptadas. - Policultura (abacate, laranja, limão, maracujá, milho, feijão, banana, pimenta do reino, mamão)	- Incorporação de matéria orgânica. - Adubação verde
PE3 677.82ha 1.50%	Podzólicos, suave ondulado, textura média/ argilosa, fertilidade natural alta, boa capacidade de armazenamento de água, medianamente profundo.	Todas as culturas do sistema radicular não muito profundo. (melão, melancia, sorgo, banana)	- Incorporação de matéria orgânica. - Necessidade de drenagem. - Nivelamento do terreno.
PE4 210 ha 1.50%	Podzólicos, suave ondulado, textura média, fertilidade natural alta, boa capacidade de armazenamento de água, pouco profundo com cascalho.	Culturas de sistema radicular pequeno.	- Incorporação de matéria orgânica.
PE5 189.17ha 1.40%	Podzólicos, ligeiramente planos, textura média, altos valores de 100 Na+/T.	Culturas tolerantes.	- Drenagem do solo - Uso de corretivos.
PE6 149.95 ha 1.10%	Podzólicos, ligeiramente plano, textura média, fertilidade natural média, altos valores de 100 Na+/T, pedregoso.	Culturas de sistema radicular pouco profundo	Uso de corretivos.
PE7 1003.91ha 7.40%	Podzólicos, ligeiramente plano, textura média, pedregoso.	Culturas de sistema radicular pequeno	Incorporação da matéria orgânica.
PE8 188.36ha 1.40%	Podzólicos, raso pedregoso.	Pastagem nativa	-
Re 1550.00ha 11.40%	Solos litólicos rasos pedregosos.	Pastagem nativa.	-

Fonte: EMEPA, 1998.



- A porcentagem que consta na Tabela 3.5 refere-se a área total do perímetro 13.568,81 ha.

### 3.4 - DADOS HIDROLÓGICOS

Os dados hidrológicos apresentados a seguir são referentes a região onde estão localizados os reservatórios de Coremas e Mãe D'Água, obtidos no PDRH-PB, 1996.

#### 3.4.1 – Referentes a Região dos Reservatórios de Coremas e Mãe D'água, PDRH-PB

A Tabela 3.6 mostra a precipitação média na bacia hidrográfica do Piancó em mm relativo a série de anos 1937 a 1990.

Tabela 3.6 – Precipitação mensal média em Coremas (mm).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	79,1	134,3	219,72	175,61	67,55	31,1	17,58	5,78	5,28	9,12	21,38	39,43	827,3

Fonte: Diagnóstico do PDRH-PB, 1996, das Bacias do Piancó/Piranhas.

A evaporação média mensal na área do reservatório Coremas Mãe D'Água, e nas irrigáveis de suas margens, estão descritas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Evaporação média mensal no posto de Coremas.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	224	171	154	140	140	139	168	215	233	259	251	235

Fonte: Diagnóstico do PDRH-PB, 1996, das Bacias do Piancó/Piranhas.

A Tabela 3.8 mostra a umidade relativa observada na área do reservatório.

Tabela 3.8 – Umidade relativa na área do reservatório.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Ju	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	27,3	26,5	26,1	25,9	23,4	25,1	26,2	26,3	25,6	28,8	27,8	27,9

Fonte: Diagnóstico do PDRH-PB, 1996, das Bacias do Piancó/Piranhas.

#### 3.4.2 – Referentes a Região do Perímetro Irrigado de Sousa – PB:

Na Tabela 3.9 são apresentados os dados de precipitação média mensal na região de Sousa em mm relativo a série de anos 1937 à 1990.

Tabela 3.9 - Precipitação mensal média (mm)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	86,3	154,5	234,1	170,6	80,3	28,6	14,8	4,8	3,7	7,9	15,3	31,8	832,7

Fonte: SUDENE, 1998 – Posto climatológico de Sousa.

Evaporação:

A Tabela 3.10 mostra os dados de evaporação mensal média obtidos da estação climatológica de Sousa para um período de 1970 a 1988.

Tabela 3.10 - Evaporação média mensal no tanque Classe A em Sousa (mm).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	249,0	198,3	196,5	169,2	175,2	181,4	212,5	262,4	275,6	298,6	283,4	277,0	2.761,5

Fonte: SUDENE, 1998 – Posto climatológico de Sousa.

Temperatura:

Na Tabela 3.11 são mostrados os dados de temperatura mensal, obtidos na estação climatológica de Sousa, para o período de 1980 a 1991.

Tabela 3.11 - Temperatura média mensal em Sousa (°C).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	28,25	27,55	26,82	25,97	25,48	25,04	25,57	26,27	27,69	28,81	29,07	28,72

Fonte: SUDENE, 1998 – Posto climatológico de Sousa.

Umidade Relativa do Ar:

Na Tabela 3.12 são apresentados os dados de umidade relativa média mensal do ar para o município segundo o Atlas Climatológico da Paraíba, 1985.

Tabela 3.12 - Umidade relativa média do ar em Sousa (%).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	62,0	69,0	74,0	74,0	72,0	68,0	62,0	59,0	57,0	56,0	57,0	58,0

Fonte: Atlas Climatológico da Paraíba, 1985.

## **CAPÍTULO IV**

### **O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

#### **CISDERGO**

##### **4.1 - INTRODUÇÃO**

O modelo utilizado neste trabalho é o CISDERGO (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), desenvolvido por Curi e Curi (2001). É um programa baseado em técnicas de programação linear recursiva, leva em consideração a natureza não linear do problema de forma recursiva, que é destinado a maximizar múltiplos objetivos relativos a implantação ou melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados, otimizando o uso da água aduzida de um reservatório e poços e rios. O modelo simula a operação do reservatório através da equação do balanço hídrico do mesmo usando demandas fixas e variáveis, obtidas com base na necessidade suplementar líquida de irrigação, estabelecidas através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas e levando em consideração os demais tipos de usos do sistema. O método empregado também leva em consideração os diferentes tipos de sistemas de irrigação e suas necessidades de altura manométrica, as áreas máximas e mínimas a serem irrigadas para cada mancha de solo e cada tipo de cultura, custos de água e de produção, aspectos econômicos e a combinação ou variação nas fontes de bombeamento e a quantidade de água aduzida.

O CISDERGO utiliza como ambiente computacional de desenvolvimento a ferramenta MATLAB (Matrix Laboratory). Esta ferramenta computacional foi criada pelas

Universidades Norte Americanas de Novo México e de Stanford na década de 70, capaz de realizar análises numéricas, cálculo matricial, processamento de sinais e gráficos de forma simples onde os problemas e as soluções são expostos da mesma forma como são escritos matematicamente, sem a necessidade da tradicional programação.

Em geral, o modelo de otimização é constituído por uma função objetivo  $F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , que se quer maximizar ou minimizar, onde,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as  $n$  variáveis de decisão do problema. Além da função objetivo, pode-se ter também  $m$  funções de restrição  $g_i(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ,  $i=1, 2, \dots, m$  que determinam a região viável das variáveis de decisão. Assim pode-se representar o problema de otimização através de:

$$\text{Max(Min) } F(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4.1)$$

sujeito a

$$\begin{aligned} g_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_1; < b_1; = b_1 \\ g_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_2; < b_2; = b_2 \\ g_m(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_m; < b_m; = b_m \end{aligned} \quad (4.2)$$

onde,  $b_i$ ,  $i=1, 2, \dots, m$  são parâmetros do modelo. O conjunto de valores das variáveis de decisão  $X_1, X_2, \dots, X_n$  que satisfaz ao sistema de equações (4.2) é chamado de solução viável. Dentre as soluções viáveis, aquela que também satisfaz a (4.1) é chamada de solução ótima.

A programação linear, caracteriza-se pelo estabelecimento de relações lineares, ou seja, todas as equações envolvidas são necessariamente representadas por variáveis do primeiro grau.

#### 4.2 – DESCRIÇÃO DO MODELO CISDERGO

A função objetivo do modelo é a maximização da receita líquida sujeita às restrições de disponibilidade de água, área a ser irrigada, capacidade de bombeamento e estrutural. Para isso, procura-se levar em consideração a renda bruta obtida com a venda dos produtos agrícolas, os custos de produção anuais, os custos de bombeamento, o custo da água e a atualização monetária. A renda bruta anual,  $Rb_{ijkl}$  em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte de água/sistema de bombeamento, pode ser dada por:

$$Rb_{ijkl} = \text{Prod}_{jt} * \text{Prc}_j * \text{Ac}_{ijkl} \quad (4.3)$$

onde  $i$  indica o tipo de cultura ( $i=1, \dots, nc$ ),  $j$  indica a unidade de produção ( $j=1, \dots, nn$ ),  $k$

indica a fonte de água ( $k=1, \dots, nf$ ),  $l$  indica o sistema de bombeamento utilizado ( $l=1, \dots, nb$ ),  $t$  indica o ano,  $t=1, \dots, na$ ,  $nc$  é o número de áreas irrigadas destinadas a diferentes culturas,  $nn$  é o número de unidades de produção,  $nf$  é o número de fontes,  $nb$  é o número de sistemas de bombeamento,  $na$  é o número de anos em estudo,  $Prod_{jt}$  é a produtividade da cultura  $j$  no ano  $t$  de irrigação em Kg/ha,  $Pre_j$  é o preço atual de comercialização da cultura  $j$  em \$/Kg e  $Ac_{ijkl}$  é a área plantada com a cultura  $i$  na unidade de produção  $j$  com água aduzida da fonte  $k$  pelo sistema de bombas  $l$ .

O custo de produção anual,  $C_{p_{ijklt}}$  em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte de água/sistema de bombeamento, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, pode ser obtido por:

$$C_{p_{ijklt}} = C_{prod_{it}} * Ac_{ijklt} \quad (4.4)$$

onde  $C_{prod_{it}}$  é o custo atual de produção da cultura  $i$  referentes à gastos relativos ao ano  $t$  em \$/ha.

Para se determinar o custo da água utilizada para a irrigação e o seu bombeamento, é necessário se determinar a quantidade de água alocada para irrigação, i.e., a lâmina de irrigação. Num primeiro passo, calculamos a necessidade hídrica máxima mensal desta planta para desempenhar as suas atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calculamos a taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura  $i$  na unidade de produção  $j$  (do perímetro  $p$ ) durante o mês  $t$ ,  $E_{tp_{ijt}}$  em mm/mês, que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evapotranspiração de referência no mês  $t$  na unidade de produção  $j$ ,  $E_{to_{jt}}$  em mm/mês, que, por sua vez, pode ser representada por:

$$E_{to_{jt}} = K_{Tj} * E_{vc_{jt}} \quad (4.5)$$

onde  $t$  indica o mês,  $i=1, \dots, nm$ ,  $nm$  é o número de meses em estudo,  $P$  é o conjunto de todas as unidades de produção que pertencem ao perímetro  $p$ ,  $K_{Tj}$  é o coeficiente do tanque evaporimétrico do perímetro  $p$  ( $j \in P$ ),  $E_{vc_{jt}}$  é a taxa de evaporação mensal média em mm/mês de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A ( $j \in P$ ) colocado no perímetro  $p$ . Logo:

$$E_{tp_{ijt}} = K_{ci} * E_{to_{jt}} \quad (4.6)$$

onde  $K_{ci}$  é o coeficiente de cultivo mensal da cultura  $i$  que reflete a sua necessidade

hídrica no mês  $t$  em função de sua fase de crescimento (Doorenbos e Pruitt, 1977). Dependendo da disponibilidade de dados meteorológicos ou, até mesmo, da umidade do solo, outras equações baseadas em outros métodos (como, por exemplo, Thornthwaite, Blaney e Criddle, Penman, Penman modificado, Hargreaves, etc.) podem ser usadas para se determinar a evapotranspiração.

Para se determinar a lâmina de irrigação, necessitamos calcular, sob o ponto de vista agrônomo, a taxa da precipitação que infiltra no solo e fica disponível para a planta, ie, a precipitação efetiva no mês  $t$  na unidade de produção  $j \in P$ ,  $Pce_{jt}$  em mm/mês, na região a ser irrigada, que é estimada a partir de (especificação da FAO, 1988, para terrenos com declividade de 4 a 5%):

$$Pce_{jt} = \begin{cases} 0,8 * Pc_{jt} - 25 & \text{se } Pc_{jt} \geq 75mm \\ 0,6 * Pc_{jt} - 10 & \text{se } Pc_{jt} < 75mm \end{cases} \quad (4.7)$$

onde  $Pc_{jt}$  é a taxa de precipitação mensal média em mm/mês que ocorre no perímetro  $p$ . Outros cálculos da precipitação efetiva podem ser facilmente implementados, como, por exemplo, uma forma mais geral é dado por Dastane (1974), desde que haja disponibilidade de dados. Conseqüentemente, a lâmina de rega, ou seja, a necessidade hídrica suplementar da cultura  $i$ , na unidade de produção  $j$  durante o mês  $t$ ,  $Nl_{ijt}$  em mm/mês, que a planta necessita para o seu pleno crescimento vegetativo pode ser dado por:

$$Nl_{ijt} = Etp_{ijt} - Pce_{jt} - G_{ijt} - W_{jt} \quad (4.8)$$

onde  $G_{ijt}$  é a dotação de água à zona radicular da cultura  $i$  na unidade de produção  $j$  durante o mês  $t$  por capilaridade em mm que depende do tipo de solo e do nível do lençol freático (Hillel, 1971), e  $W_{jt}$  é a reserva de água no solo no mês  $t$  em mm, que depende da capacidade de armazenamento de água no solo na unidade de produção  $j$ . Por simplicidade foi adotado  $G_{ijt}$  e  $W_{jt}$  iguais a zero.

Por outro lado, a quantidade de água a ser aduzida para cada tipo de cultura  $i$  dependerá, também, da eficiência do sistema de irrigação,  $Eirr_i$ , que, por sua vez, é resultado do produto entre a eficiência do sistema de distribuição,  $Ed_i$ , e da eficiência da aplicação,  $Ea_i$ , ou seja:

$$Eirr_i = Ea_i * Ed_i \quad (4.9)$$

A necessidade de lixiviação dos sais dissolvidos que se acumulam no solo que, dependendo da tolerância de cada cultura  $i$ , é dada em função da fração de água mínima destinada a lavar tais sais da fonte de água  $k$  no mês  $t$ ,  $LR_{ikt}$  em %. Rhoades e Merrill (1976) propuseram as seguintes equações para se determinar  $LR_{ikt}$ :

- Para irrigação por inundação ou aspersão de baixa frequência (Gomes, 1997):

$$LR_{ikt} = \frac{CE_{\acute{a}gua_{kt}}}{5 * CE_i - CE_{\acute{a}gua_{kt}}} \quad (4.10)$$

- Para irrigações de alta frequência (gotejamento e microaspersão)(Gomes, 1997):

$$LR_{ikt} = \frac{CE_{\acute{a}gua_{kt}}}{5 * CE_i} \quad (4.11)$$

onde  $CE_{\acute{a}gua_{kt}}$  é a condutividade elétrica da água de irrigação advinda da fonte  $k$  durante o mês  $t$  em mmhos/cm, medida a 25°C,  $CE_i$  é a condutividade elétrica do extrato de solo saturado, em mmhos/cm, e que acarreta uma determinada redução no rendimento potencial da cultura  $i$ . Conforme sugerido por Ayers e Westcot (1985), escolhe-se o valor de  $CE_i$  que acarreta uma redução 10% do rendimento potencial da cultura  $i$  para a aplicação da Equação 4.10 e de 100% para a aplicação da Equação 4.11. Logo, a lâmina mensal de água para a irrigação da cultura  $i$  da unidade de produção  $j$  com água aduzida da fonte  $k$  durante o mês  $t$ ,  $Q_{irr_{ijkt}}$  em mm/mês, a ser fornecida pelo sistema será dado por:

$$Q_{irr_{ijkt}} = \frac{NI_{ijt}}{(1 - LR_{ikt}) * E_{irr_i}} \quad (4.12)$$

O custo da água anual,  $Ca_{ijkl}$  em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento pode ser obtida por:

$$Ca_{ijkl} = Pra_k * Q_{irr_{ijkt}} * Ac_{ijkl} \quad (4.13)$$

onde  $Pra_k$  é o preço atual da água em  $\$/m^3$  aduzido da fonte  $k$ .

Caso haja necessidade, o custo do bombeamento de água mensal para a cultura  $i$  na unidade de produção  $k$  com água aduzida da fonte de água  $k$  e bombeada pelo sistema de bombeamento  $l$ ,  $Cb_{ijkl}$  em  $\$/mês.ha$ , pode ser obtido da seguinte equação:

$$\begin{aligned} Cb_{ijkl} &= E_{ijkl} * P_{kwh_l} \\ &= Pot_{ijkl} * nh_l * P_{kwh_l} \end{aligned} \quad (4.14)$$

onde  $P_{kwhl}$  é o preço da energia para o sistema de bombeamento l em \$/Kwh,  $E_{ijkl}$  é a energia em Kwh utilizada durante o mês t para irrigar a cultura i na unidade de produção j com água aduzida da fonte k pelo sistema l de bombeamento,  $Pot_{ijkl}$  é a potência requerida durante o mês t para irrigar a cultura i na unidade de produção j com água aduzida da fonte k pelo sistema de bombeamento l,  $nh_l$  é o número de horas mensal de trabalho do sistema de bombeamento l.

Por outro lado, sabemos que:

$$Pot_{ijkl} = \frac{0.736 * \Delta H_{ijk} * Q_{irr_{ijkl}} * A_{c_{ijkl}} * 10000}{75 * \eta_l * nh_l * 3600} \quad (4.15)$$

onde:

$$\Delta H_{ijkl} = (H_j - H_k) * (1 - H_{S\%i}/100) + H_{Sji} + H_{prof_{kt}} \quad (4.16)$$

$\Delta H_{ijk}$  é o requerimento de pressão do sistema de bombeamento l considerando as cotas da unidade de produção j, a cota da fonte k e o requerimento de pressão do sistema de irrigação, em metros de coluna de água (mca) e  $\eta_l$  é a eficiência do sistema l de bombeamento,  $H_j$  é a cota da unidade de produção j (m),  $H_k$  é a cota da parte térrea da fonte k (m),  $H_{prof_{kt}}$  é a profundidade mensal para adução de água da fonte k (m),  $H_{S\%i}$  é o requerimento de pressão do sistema de irrigação da cultura i e  $H_{S\%i}$  é a perda de carga percentual do sistema de irrigação i para elevação de 1 m de coluna d'água. Logo, o custo anual de bombeamento de água,  $Cb_{ijkl}$  em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento, podem ser dados por:

$$Cb_{ijkl} = \frac{0.02726 * Pr_{bl} * \Delta H_{ijkl} * Q_{irr_{ijkl}} * A_{c_{ijkl}}}{\eta_l} \quad (4.17)$$

onde  $Pr_{bl}$  é o Preço do Kwh para o sistema de bombeamento l

Outro custo importante que deve ser analisado durante um processo decisório é o custo anual de implantação dos vários sistemas. Através deles pode-se a viabilidade da implantação de sistemas como os sistemas de irrigação, bombeamento, perfuração de poços e construção de canais. Para um sistema de irrigação (aspersão, micro-aspersão, gotejamento, sulcos, inundação), o custo de implantação e manutenção,  $Cs_{ijkl}$ , em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento, pode ser dado por:



$$Csi_{ijkl} = \left( \frac{txsi_i * (1 + txsi_i)^{tvusi_i}}{(1 + txsi_i)^{tvusi_i} - 1} Pisi_i + Pmsi_i \right) * Ac_{ijkl} \quad (4.18)$$

onde  $Pisi_i$  é o custo de implantação por unidade de área do sistema de irrigação para a cultura  $i$  em \$/ha,  $Pimi_i$  é o custo de manutenção por unidade de área do sistema de irrigação para a cultura  $i$  em \$/ha,  $tvusi_i$  é o tempo de vida útil do sistema de irrigação para a cultura  $i$  em anos e  $txsi_i$  é a taxa anual de amortização do investimento para o sistema de irrigação.

O custo de implantação e manutenção de um sistema de bombeamento,  $Csb_{ijkl}$ , em \$/ano/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento, deve ratear o custo do sistema entre as culturas em função do volume de água suplementar bombeado, portanto, uma forma de incluir este custo é incluir no seu cálculo a fração entre a água bombeada para aquela cultura, naquela unidade de produção, daquela fonte naquele ano e a água total bombeada por aquela bomba no ano, ou seja:

$$Csb_{ijkl} = \left( \frac{txsb_l * (1 + txsb_l)^{tvusb_l}}{(1 + txsb_l)^{tvusb_l} - 1} Pisl_b_l + Pmsb_l \right) * \frac{Qirr_{ijkl} * Ac_{ijkl}}{\sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{nf} Qirr_{ijkl} * Ac^*_{ijkl}} \quad (4.19)$$

onde  $Pisl_b_l$  é o custo de implantação do sistema de bombeamento  $l$  em \$,  $Pmsb_l$  é o custo de manutenção do sistema de bombeamento  $l$  em \$,  $tvusb_l$  é o tempo de vida útil do sistema de bombeamento  $l$  em anos,  $txsb_l$  é a taxa anual de amortização do investimento para o sistema de bombeamento  $l$  e  $Ac^*_{ijkl}$  é a área ótima alocada por cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento.

A mesma idéia pode ser aplicada na inclusão do custo de construção/implantação e manutenção de fontes e canais, ou seja, para as fontes temos:

$$Csf_{ijkl} = \left( \frac{txsf_k * (1 + txsf_k)^{tvusf_k}}{(1 + txsf_k)^{tvusf_k} - 1} Pisf_k + Pmsf_k \right) * \frac{Qirr_{ijkl} * Ac_{ijkl}}{\sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{l=1}^{nb} Qirr_{ijkl} * Ac^*_{ijkl}} \quad (4.20)$$

onde  $Pisf_k$  é o custo de implantação da fonte  $k$  em \$,  $Pmsf_k$  é o custo de manutenção da fonte  $k$  em \$,  $tvusf_k$  é o tempo de vida útil da fonte  $k$  em anos e  $txsf_k$  é a taxa anual de amortização do investimento para o sistema de fontes  $k$ . Para os canais temos:

$$Csc_{ijkl} = \left( \frac{IASC_m * (1 + IASC_m)^{IVUSC_m}}{(1 + IASC_m)^{IVUSC_m} - 1} PISC_m + PMSC_m \right) * \frac{Qirr_{ijkl} * Ac_{ijkl}}{\sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nu} \sum_{k=1}^{nb} Qirr_{ijkl} * Ac_{ijkl}} \quad (4.21)$$

onde  $PISC_m$  é o custo de implantação do sistema de canais  $m^e$  a fonte  $k$  em \$,  $PMSC_m$  é o custo de manutenção do sistema de canais  $m^e$  a fonte  $k$  em \$,  $IVUSC_m$  é o tempo de vida útil do sistema de canais  $m^e$  a fonte  $k$  em anos e  $IASC_m$  é a taxa anual de amortização do investimento para o sistema de canais  $m^e$  a fonte  $k$ . Portanto, a receita líquida,  $RL_{ijkl}$  em \$/cultura/unidade de produção/fonte/sistema de bombeamento, é dada por:

$$RL_{ijkl} = \sum_{t=1}^{na} \prod_{m=1}^t (1 + d_m) \left( \prod_{n=1}^t (1 + dc_n) * Rb_{ijkl} - Cp_{ijkl} - Ca_{ijkl} - Cb_{ijkl} - Cs_{ijkl} \right) \quad (4.22)$$

onde  $\prod_{m=1}^t (1 + d_m)$  é o fator de atualização monetária referente a taxa de (inflação)

desvalorização  $d_m$  da moeda no ano  $m$ ,  $\prod_{n=1}^t (1 + dc_n)$  é o fator de atualização monetária

referente a expectativa da taxa de crescimento ou decréscimo nos preços  $dc_n$ , além do nível da inflação, da cultura  $i$  no ano  $n$ , que pode ser positiva ou negativa, e  $Cs_{ijkl} = Csi_{ijkl} + Csb_{ijkl} + Csf_{ijkl} + Csc_{ijkl}$ .

Outros custos, como por exemplo os gastos fixos e indiretos dos fazendeiros (administração, taxas, etc.), não alteram o resultado do processo de otimização e não são levados em consideração na solução do problema.

#### Outros benefícios

Nem sempre os benefícios a serem almejados num projeto de irrigação são baseados no lucro líquido. Muitas vezes o fator social, que pode, como exemplo, ser considerado aqui em termos de número de empregos gerados, é mais importante que o lucro líquido, principalmente, sob o aspecto político numa zona semi-árida como o nordeste brasileiro. Portanto, relações expressando outros benefícios em termos de áreas cultivadas devem estar disponíveis de forma a fornecer uma certa flexibilidade de possíveis opções ao engenheiro analista ou projetista do sistema. Esta flexibilidade pode ser atingida se os benefícios por área cultivada possam ser expressos por unidade de tempo (mês, ano ou todo o período de estudo), por unidade de produção ou por perímetro irrigado. Nestes casos, deve ser permitido ao engenheiro maximizar benefícios ou minimizar perdas como o

uso de equipamentos, insumos, etc., por unidade de tempo ou produção ou por perímetro irrigado. O benefício ou perda por unidade de tempo e de cultura a ser maximizado ou minimizado, respectivamente, pode ser dado por:

$$(\max \text{ ou } \min) F_m = \alpha_m \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ben_{im} Ac_{ijkl} \quad (4.23)$$

onde  $\alpha_m$  é o coeficiente que serve para escalonar as variáveis e indicar se é para minimizar perdas ou maximizar benefícios da n-ésima função no período de tempo t,  $Ben_{im}$  é o benefício ou perda da n-ésima função objetivo associado com a cultura i durante a unidade de tempo t e t é a unidade de tempo a ser considerada (mês, ano ou todo o período de estudo). Outro benefício pode ser expresso por unidade de produção ou, até mesmo, por perímetro irrigado e a função a ser maximizada ou minimizada pode ser, de forma geral,

$$(\max \text{ ou } \min) F_{nj} = \beta_{nj} \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ben_{nij} Ac_{ijkl} \quad (4.24)$$

onde  $\beta_{nj}$  é um coeficiente que serve para escalonar as variáveis e indicar se é para maximizar benefícios ou minimizar perdas da n-ésima função com relação a unidade de produção j ou perímetro ( $j \in P$ ) e  $Ben_{nij}$  é um benefício ou perda associado à n-ésima função objetivo n e à cultura i quando plantada na unidade de produção j.

#### Balanço Hídrico do Reservatório

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

$$V_{r,t+1} = V_{r,t} + Qa_t - Qd_t + 10 * \left\{ (Pr_t - Evr_t) * \frac{(Ar_t + Ar_{t+1})}{2} - \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k \in R} \sum_{l=1}^{nb} Qir_{ijkl} * Ac_{ijkl} \right\} - Vext_t - Vdef_t \quad (4.25)$$

onde R é o conjunto de todos canais (fonte  $k \in R$ ) que aduzem água diretamente do reservatório,  $V_{r,t}$  é o volume do reservatório no mês t em  $m^3$ ,  $V_{r,t+1}$  é o volume do reservatório no mês t+1 em  $m^3$ ,  $Qa_t$  é a vazão afluente ao reservatório no mês t em  $m^3/mês$ ,  $Qd_t$  é a vazão defluente do reservatório no mês t em  $m^3/mês$ ,  $Vext_t$  é a vazão vertida pelo extravasor do reservatório no mês t em  $m^3/mês$ ,  $Vdef_t$  é a vazão descarregada do reservatório no mês t em  $m^3/mês$ ,  $Pr_t$  é a precipitação durante o mês t na área do reservatório em mm/mês,  $Evr_t$  é a taxa de evaporação mensal na região do reservatório em

mm/mês e  $\frac{(Ar_t + Ar_{t+1})}{2}$  é a área média mensal do espelho de água do reservatório em ha.

Dependendo da alocação mensal da água do reservatório para os diversos usos, a área mensal média do espelho de água do reservatório pode variar de mês a mês, sendo, portanto, necessário atualizá-la quando da mudança do uso consuntivo da água do reservatório. A área do espelho de água do reservatório pode ser relacionada com o volume do reservatório naquele mês, pela seguinte equação:

$$Ar_t = Km * Vr_t^{mmm} \quad (4.26)$$

onde  $mmm$  é o expoente da equação obtido através de ajuste de curva cotaxvolumexárea e  $km$  é o coeficiente da equação obtido através de ajuste de curva volumexárea.

#### *Problema de Programação Linear*

Nossa principal meta é colocar o problema exposto na seguinte forma:

$$\min_x fo = \sum_i c_i x_i = c^T x \quad \text{sujeito a:} \quad Ax \leq b \quad (4.27)$$

onde  $fo$  é a função objetivo a ser minimizada,  $x_i$  são as variáveis de decisão do problema,  $i=1, \dots, n$ ,  $c_i$  são os coeficientes da função objetivo,  $a_{li}$  são os coeficientes da matriz do sistema de equações de restrições,  $A$ ,  $l=1, \dots, m$ , e  $b_l$  são os elementos do vetor do sistema de equações de restrições,  $b$ .

Pode-se facilmente verificar que as funções objetivo propostas, que são a receita líquida, fornecida pela Equação 4.22 (que é complementada pelas Equações 4.3, 4.4, 4.13 e 4.17) e pelos benefícios ou perdas por unidade de tempo, dada pela Equação 4.23, ou por unidade de produção ou perímetro, dada pela Equação 4.24, satisfazem o requerimento da linearidade conforme especifica a Equação 4.27. As partes fracionárias das Equações 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 podem ser linearizadas e terminar de compor, assim, a Equação 4.22 satisfazendo, ao mesmo tempo, os requerimentos de linearidade. Atenção especial deve ser dada a novas variáveis que são: 1) o volume de água extravasado pelo reservatório, 2) a vazão defluente e 3) coeficientes inteiros ou fracionários que determinam o número de bombas quer sejam fixas ou móveis (isto é, uma bomba pode ser usada em mais de uma fonte), respectivamente, alocadas para cada fonte. Portanto, com relação as variáveis, a receita líquida anual associada a cada uma delas deve ser um valor zero (para a vazão

defluente ou número de bombas) ou negativo (para o volume extravasado) de forma a minimizar o volume extravasado e liberar água para a calha do rio ligada ao reservatório somente para satisfazer os requerimentos de regularização do rio e atender outras demandas de irrigação cuja água é captada da calha do rio.

Vários são os conjuntos de equações que especificam as restrições do problema e serão enunciadas a seguir:

*Critérios agronômicos e de mercado:*

Um dos primeiros conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos de áreas plantadas com cada tipo de cultura quer seja por unidade de produção:

$$Amin_{ij} \leq \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ac_{ijkl} \leq Amax_{ij} \quad (4.28)$$

onde  $Amin_{ij}$  é a área mínima plantada com a cultura  $i$  na unidade de produção  $j$  em ha e  $Amax_{ij}$  é a área máxima plantada com a cultura  $j$  na unidade de produção  $j$  em ha, ou por perímetro:

$$Amin_{ip} \leq \sum_{j \in P} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ac_{ijkl} \leq Amax_{ip} \quad (4.29)$$

onde  $P$  é o conjunto de unidades de produção pertencentes ao perímetro  $p$  ( $j \in P$ ),  $Amin_{ip}$  é a área mínima plantada com a cultura  $i$  no perímetro  $p$  ( $j \in P$ ) em ha e  $Amax_{ip}$  é a área máxima plantada com a cultura  $j$  no perímetro  $p$  ( $j \in P$ ) em ha.

*Disponibilidade de solo:*

Podem existir restrições quanto ao limite máximo mensal da área que pode ser plantada por unidade de produção em cada mês:

$$\sum_{j \in P} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} a_{ij} * Ac_{ijkl} \leq Atot_{jt} \quad (4.30)$$

onde,

$$a_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se a cultura } i \text{ é plantada no mês } t. \\ 0 \text{ se a cultura } i \text{ não é plantada no mês } t. \end{array} \right\}$$

$Atot_{jt}$  é a máxima área que pode ser plantada na unidade de produção  $j$  no mês  $t$  em ha, ou

por perímetro em cada mês:

$$\sum_{i=1}^{nc} \sum_{j \in P} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} a_{ij} * Ac_{ijkl} \leq Atot_{pt} \quad (4.31)$$

onde  $Atot_{pt}$  é a máxima área que pode ser plantada no perímetro p ( $j \in P$ ) no mês t em ha

*Disponibilidade de recursos* (mão de obra, insumos, investimento, máquinas, etc.)

As limitações de recursos são relacionadas a cada tipo de cultura e podem ser, com relação a escala de tempo, totais, anuais ou mensais, e, com relação ao espaço físico, podem ser por unidade de produção ou por perímetro irrigado. Com relação as restrições da disponibilidade de recursos relacionadas numa escala de tempo estas podem ser representadas por:

$$\sum_{i=1}^{nc} rect_{in} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ac_{ijkl} \leq Recttot_{in} \quad (4.32)$$

onde  $rect_{in}$  é o n-ésimo recurso requerido pela cultura i no tempo t,  $Recttot_{in}$  é a disponibilidade total do n-ésimo recurso no tempo t. As limitações dos recursos relacionadas as unidades de área, unidades de produção ou perímetros irrigados, podem ser dadas de uma forma geral por:

$$\sum_{i=1}^{nc} reca_{ijn} \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ac_{ijkl} \leq Recatot_{in} \quad \text{ou} \quad \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j \in P} reca_{ijn} * \sum_{k=1}^{nf} \sum_{l=1}^{nb} Ac_{ijkl} \leq Recatot_{pn} \quad (4.33)$$

onde  $reca_{ijn}$  é o n-ésimo recurso requerido pela cultura i na unidade de produção j,  $Recatot_{in}$  é a disponibilidade total do n-ésimo recurso na unidade de produção \* ou perímetro p

*Operação do reservatório e restrições físicas:*

Com relação ao reservatório, o seu volume deverá estar limitado pela sua capacidade máxima e requerimentos quanto ao volume mínimo, ou seja:

$$Vrmin_t \leq Vr_t \leq Vrmax_t \quad (4.34)$$

onde  $Vrmax_t$  é o volume máximo admitido para o reservatório no mês t ( $m^3$ ) e  $Vrmin_t$  é o volume mínimo admitido para o reservatório no mês t ( $m^3$ ). Por outro lado, para se garantir a sustentabilidade hídrica do sistema, se faz necessário que o reservatório

apresente o seu volume final igual ou maior que seu o volume inicial. Este tipo de restrição pode ser incorporado ao problema estabelecendo que o volume mínimo do último mês será igual ou maior que o volume inicial.

Deve-se, ainda, impor, para os meses em que  $Vrmax_t$  for maior que a capacidade do reservatório, um limite máximo quanto a capacidade de extravasamento do reservatório,  $Vextmax$  em  $m^3/mês$ , de acordo com o formato do extravasor:

$$Vext_t \leq Vext\ max, \quad (4.35)$$

Temos, ainda, restrições quanto ao comportamento físico do descarregador de fundo, cuja vazão esta limitada pela sua capacidade máxima,  $Vdefmax$  em  $m^3/mês$ , por:

$$Vdef_t \leq Vdef\ max \quad (4.36)$$

Também, lembrando que  $Vext_t=0$  nos meses que  $Vrmax_t$  é menor que a capacidade do reservatório, os limites de vazão máximo ( $Vregmax$ ) e mínimo (regularizada mensal:  $Vregmin_t$ ) da calha do rio que podem ser dadas por:

$$Vdef_t + Vext_t \leq Vreg\ max \quad (4.37)$$

$$Vreg\ min_t \leq Vdef_t + Vext_t - 10 * \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k \in T} \sum_{l=1}^{nb} Qirr_{ijkt} * Ac_{ijkl} \quad (4.38)$$

onde T é o conjunto de fontes de água que são canais ligados a calha do rio.

Outro sistema de restrições está ligado aos canais que permitem a adução de água diretamente do reservatório ou da calha do rio alimentada por ele. Esta é uma restrição quanto a capacidade de transporte de água pelo canal  $k \in T$  e pode ser dada por:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} \sum_{l=1}^{nb} Qirr_{ijkt}}_{paracadake \in T} \leq Vcan\ max_{k \in T} \quad (4.39)$$

onde  $Vcan\ max_k$  é a capacidade de vazão do k-ésimo canal pertencente a T.

#### Disponibilidade de água subterrânea:

Devemos, ainda, considerar os limites impostos pela capacidade máxima de vazão mensal que pode ser aduzida do lençol freático através do sistema de bombeamento dos poços:

$$10 * \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nn} \sum_{k \in M} \sum_{l=1}^{nb} Q_{irr_{ijkl}} * Ac_{ijkl} \leq Vlf_{max_m} \quad (4.40)$$

onde M é o conjunto de poços ligados ao m-ésimo lençol freático,  $Vlf_{max_m}$  é a vazão máxima mensal suportada pela soma da adução de água dos poços  $k \in M$  em  $m^3/mês$ .

Por outro lado, a cada poço esta associada uma restrição quanto a sua capacidade mensal de vazão que pode ser dada por

$$10 * \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{l=1}^{nb} Q_{irr_{ijkl}} * Ac_{ijkl} \leq Vp_{max_{kl}}, \quad k \in N \quad (4.41)$$

onde N é o conjunto de fontes k do tipo poços e  $Vp_{max_{kl}}$  é a vazão máxima mensal de cada poço  $k \in N$ , em  $m^3/mês$ .

*Limitações do sistema de bombeamento:*

Com relação a limitação imposta pela capacidade do sistema de bombeamento, estas podem ser representadas por:

$$10 * \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{k=1}^{nf} Q_{irr_{ijkl}} * Ac_{ijkl} \leq Vb_{max_l} \quad (4.42)$$

onde  $Vb_{max_l}$  é a capacidade máxima mensal de vazão do l-ésimo sistema de bombeamento em  $m^3/mês$ .

Para se estabelecer os limites superiores da capacidade de vazão para cada sistema l de bombeamento, calculamos esta vazão máxima com os dados dos conjuntos locais de bombas, como é mostrado a seguir:

$$Vb_{max_l} = 3,6 * nb_l * nh_l * Vbcap_l \quad (4.43)$$

onde  $nb_l$  é o número de bombas em cada conjunto l, com iguais capacidades de elevação de altura manométrica da água e vazão,  $nh_l$  é o número de horas mensais médio de trabalho do sistema l de bombas, e  $Vbcap_l$  é a vazão mensal média aduzida de cada bomba no conjunto de bombas l, em l/s.

Com o propósito de viabilizar a alocação definitiva de bombas por fontes de água, sem posterior remoção, isto é, uma bomba não pode ser utilizada em duas fontes de água, podemos gerar variáveis inteiras  $nb_{fkl}$ , número de bombas do sistema l de bombeamento



*alocados na fonte k*, de tal forma a satisfazer as seguintes restrições:

1- Quanto ao número de bombas:

$$\sum_{k=1}^{nf} nbf_{kt} \leq nb_l \quad (4.44)$$

2- Quanto a vazão

$$10^* \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{m} Qirr_{ijkt} * Ac_{ijkt} - \frac{Vb_{max_l}}{nb_l} nbf_{kt} \leq 0 \quad (4.45)$$

Ainda com relação ao sistema de bombeamento deve-se observar que as necessidades de altura sucção da fonte k e recalque que as diferenças de cotas de unidades de produção j e fonte k, aliados ao requerimento de pressão do sistema de irrigação associado a cultura i requer para o seu sistema de irrigação no nível k devem ser, necessariamente, satisfeitas pelos conjuntos de bombas. O requerimento de sucção pode ser dado por:

$$Hprof_{kt} \leq Hbprof_l \quad (4.46)$$

onde  $Hprof_{kt}$  é a profundidade para aduzir a água da fonte k<sup>em</sup> no mês t (em m) e  $Hbprof_l$  é a altura máxima de sucção do sistema de bombeamento l (em m).

A altura de recalque que a bomba tem que satisfazer pode ser dada por (vide equação 4.16):

$$(H_j - H_k) * (1 - H_{sl\%i} / 100) + H_{sl} \leq Hbrec_l \quad (4.47)$$

onde  $Hbrec_l$  é a altura máxima de recalque do sistema de bombeamento l (em m).

As restrições relativas as equações (4.46) e (4.47) não precisam entrar de forma explícita no problema de programação linear, isto é, elas podem ser verificadas durante a formação das variáveis do problema.

*Irrigação por gravidade:*

A fim de viabilizar a irrigação por gravidade, pode-se criar uma bomba fictícia que venha a atender a todas as culturas, unidades de produção e fontes de água que satisfaçam este requisito. Esta bomba fictícia teria capacidade de vazão é igual a soma de todas as capacidades das fontes cujas associações com culturas, sistemas de irrigação e unidades de

produção podem irrigar por gravidade. Esta bomba apresenta como característica não possuir nenhuma capacidade de altura de recalque e sucção e não apresentar nenhum custo de manutenção ou implantação.

*Não negatividade das variáveis:*

No caso de se considerar que a água aduzida pode advir de poços e reservatórios, é necessário incluir as restrições de não negatividade destas variáveis, ou seja:

$$Ac_{ijk} \geq 0, Vext_t \geq 0, Vdef_t \geq 0 \text{ e } nbf_{kl} \geq 0 \quad (4.48)$$

### 4.3 – ESTRUTURA DOS DADOS PARA O MODELO CISDERGO

#### 4.3.1 – Os Objetivos do Modelo CISDERGO

Para sintetizar a idéia da concepção do CISDERGO, este foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

1. - Otimização da operação integrada de um Reservatório, Poços, Rios e outras fontes hídricas superficiais e Áreas Irrigadas via Programação Linear Recursiva
2. - Formulação automática da função objetivo e das equações de restrição
3. - Permitir uma abordagem espacial por perímetro ou por unidades de produção, por níveis topográficos ou por características de solo semelhantes
4. - Permitir, uma abordagem com escalas de tempo mensal, anual ou plurianual:
5. - Otimizar funções multi-objetivo
6. - Incorporar outras restrições não implícitas no CISDERGO
7. - Permitir a associação entre planos culturais, fontes de água, unidades de produção ou perímetros, sistemas de bombeamento e de irrigação.

#### 4.3.2 – Fluxograma do Modelo CISDERGO

Uma síntese dos dados de entrada, saída e do funcionamento do modelo também podem ser vistos no fluxograma da Figura 4.1.



Figura 4.1 – Fluxograma do Modelo CISDERGO

## 4.3.3 – Dados de Entrada do Modelo CISDERGO

a) - Dados relacionados ao reservatório

nm = número de meses em estudo

b) - Dados Climatológicos

Pr = Precipitação média mensal na área do reservatório (mm/mês)

Evr = Evaporação média mensal do tanque na área do reservatório (mm/mês)

Kt = Coeficiente de evaporação do tanque

## c) - Fluxo de água

$Q_a$  = Vazão mensal afluyente ao reservatório ( $m^3/mês$ )

$Q_d$  = Vazão média mensal defluente (demanda) do reservatório para abastecer as cidades ( $m^3/mês$ )

$V_{ini}$  = Volume inicial do reservatório no processo iterativo

Dados Estruturais

$V_{rmax}$  = Volumes mensais máximos do reservatório ( $m^3$ )

$V_{rmin}$  = Volumes mensais mínimos do reservatório ( $m^3$ )

## d) - Capacidade de armazenamento do reservatório

$V_{extmax}$  = Vazão extravasada máxima permitida pelo extravasor do reservatório

$K_m$  e  $m_m$  = Dados dos coeficientes da relação Área x Volume do reservatório:  $Ar(i) = K_m * V_r(i)^{m_m}$

$V_{canmax}$  = Capacidade máxima do canal para aduzir água do reservatório para a área irrigada ( $m^3/mês$ )

$P_{ra}$  = Preço médio do  $m^3$  de água retirada do reservatório para o sistema de irrigação ( $\$/m^3$ )

## e) - Dados relacionados ao lençol freático

$n_p$  = Número de poços

$H_k$  = Cota da parte térrea do poço (m)

$H_{prof}$  = Profundidade para extrair água do poço (m)

$V_{pmax}$  = Capacidade de extração de água dos poços no mês ( $m^3/s$ )

$P_{ra}$  = Preço da água extraída ( $\$/m^3$ )

$C_{sf}$  = Custo anual de implantação e manutenção do poço (R\$/ano)

$t_{vuf}$  = Vida útil do poço (anos)

$t_{xsf}$  = Taxa anual de amortização do investimento

$V_{lfmax}$  = Capacidade mensal máxima de exploração do lençol freático ( $m^3/mês$ )

## f) - Custo e capacidade do sistema de bombeamento

$n_b$  = Número de sistemas de bombeamento para uso geral (reservatórios e poços)

$n_b$  = Número de bombas em cada tipo de sistema de bombas

$V_{bcap}$  = Capacidade de bombeamento média (l/s)

$H_{bprof}$  = Altura máxima de elevação da coluna de água pelas bombas

$\eta$  = Rendimento do sistema moto-bomba

$P_{rb}$  = Preço do Kwh para cada sistema de bombas (R\$/Kwh)

$C_{sb}$  = Custo anual de implantação e manutenção do sistema (R\$/ano)

## g) Dados das culturas e áreas cultiváveis

$n_c$  = Número de culturas

$n_a$  = Número de anos em estudo

$Prod$  = Produtividade de cada cultura em cada ano

$P_{rc}$  = Preço médio unitário de venda de cada cultura

$C_p$  = Custo médio de produção de cada cultura em R\$/ha (insumos: sem energia elétrica e mão de obra) pela Conta Cultural do Banco do Nordeste

## h) Dados sobre o perímetro irrigado e restrição quanto as áreas

$A_{tot}$  = Área total mensal disponível para ser plantada (ha)

$A_{max}$  = Área máxima total que pode ser plantada com cada cultura (ha)

$A_{min}$  = Área mínima que pode ser plantada com cada cultura (ha)

i) - Dados das unidades de produção

$n_n$  = Número de unidades de produção aptos para irrigação

$n_f$  = Fontes de Abastecimento de água para cada unidade de produção

J) - Dados sobre o mercado financeiro

$d_m$  = Taxa anual de desvalorização da moeda

$d_c$  = Taxa anual que reflete a expectativa de aumento ou diminuição da receita para cada cultura acima da inflação que pode ser positiva ou negativa indicando tendência de aumento ou diminuição de lucros

k) - Dados Climatológicos da zona de irrigação

$P_c$  = Precipitação média mensal na área irrigável (mm/mês)

$E_{vc}$  = Evaporação média mensal medida no tanque de evaporação na área irrigável em cada mês (mm/mês)

$K_{te}$  = Constante de evaporação na área irrigável

Dados do sistema de irrigação aplicados a culturas

$E_d$  = Valor percentual da eficiência do sistema de distribuição para irrigação por cultura

$E_a$  = Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por cultura

$\Delta H$  = Pressão requerida pelo sistema de irrigação da cultura (mca)

$H_{si}$  = Perda de carga percentual para elevar água em 1 m (%/m)

$C_{si}$  = Custo de implantação e custo anual de manutenção do sistema de irrigação por hectare (R\$/ano x ha)

$t_{vusi}$  = Vida útil do sistema de irrigação (anos)

$t_{xsi}$  = Taxa anual de amortização do investimento

#### 4.3.4 – Resultados Fornecidos Pelo Modelo

- Áreas irrigadas totais e por cultura (por nível de terreno e por fontes de abastecimento hídrico) em há;
- Receitas e benefícios líquidos totais e por cada cultura obtidos com o cultivo das culturas irrigadas;
- Área cultivada total mensal por nível, em há;
- Volumes mensais extraídos das fontes (reservatório e poços) para a irrigação ( $hm^3$ );
- Áreas da superfície líquida, volumes de armazenamento e vertidos mensais do reservatório;

## CAPÍTULO V

### DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 5.1 – INTRODUÇÃO

Utilizando o modelo CISDERGO 2.0, o qual utiliza Programação Linear Recursiva, realizou-se o processo de otimização visando analisar as condições de operação integrada ótima do sistema composto pelos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e dos perímetros irrigados às margens dos reservatórios e do perímetro irrigado Várzeas de Sousa, para vários cenários com períodos hidroclimáticos, caracterizados como seco, normal, médio e chuvoso para um período de 6 (seis) anos, que é o tempo que levam as culturas perenes para se estabilizar. Neste sentido, foram utilizadas as vazões regularizadas de  $4\text{m}^3/\text{s}$ , que é a vazão regularizada do interesse atual do estado da Paraíba e  $5,5\text{ m}^3/\text{s}$ , que é a vazão desejada pelo estado de Rio Grande do Norte. Foram realizadas três simulações cada uma com uma série de 30 anos de dados hidroclimáticos para verificar a viabilidade da implantação dos perímetros irrigados e a sustentabilidade hídrica do sistema de reservatórios Coremas e Mãe D'Água.

Os dados utilizados no modelo foram considerados na base mensal, como precipitações, evaporações e vazões afluentes, etc, a partir da série de dados utilizados de 1937 a 1990, mostrada a seguir para cada ciclo hidroclimático. A definição dos cenários hidroclimáticos está sintetizada na Tabela 5.1, a qual mostra como foram calculadas as médias plurianuais de períodos de seis anos sobrepostos. Por exemplo: a primeira série plurianual são os seis primeiros anos, a segunda série são os cinco últimos anos da primeira mais o ano subsequente, a terceira usa o mesmo processo da segunda e assim por diante. Com base nas médias de cada série plurianual, foram definidos períodos seco normal médio e chuvoso.

Tabela 5.1 – Definições dos períodos hidroclimáticos

Anos	Precipitação Anual (mm)	Médias Plurianuais (mm)	
1937	733,7		
1938	708,0		
1939	702,6		
1940	1249,3		
1941	598,6		
1942	417,5		
1943	583,8		
*	*		
*	*		
*	*		
1948	696,9	657,1	
1949	765,2		
1950	777,6		
1951	513,9		
1952	699,7		
1953	488,9		
*	*		
*	*		
1990	542,4		
1948-1953	657,1		Período Seco
1965-1970	803,4	Período Normal	
1984-1989	1058,5	Período Chuvoso	
1937-1990	810,0	Ano Médio	

Período Seco – Série de menor valor plurianual de precipitação, período de 1948 a 1953;

Período Normal – Série cuja média plurianual de precipitação mais se aproximou da média plurianual de precipitação total, período de 1965 a 1970;

Período Chuvoso – Série de maior valor plurianual de precipitação, período de 1984 a 1989;

Período Médio – dados médios mensais pluviométricos da série histórica total, período de 12 meses da média mensal de toda a série;

As séries de vazões afluentes ao reservatório, utilizadas para os ciclos médio, seco e chuvoso são correspondentes em tempo aquelas usadas para os dados de precipitação.

## 5.2 – DADOS REFERENTES AOS RESERVATÓRIOS

As Tabelas 5.2 a 5.13 a seguir mostram os dados médios mensais pluviométricos e as séries plurianuais de vazões afluentes pertencentes aos diferentes ciclos: seco, normal, médio e chuvoso. Os dados de precipitações utilizados neste trabalho foram retirados do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, (1999).

Tabela 5.2 – Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período seco.

Período Seco	1948	1949	1950	1951	1952	1953	Media mensal
Jan	38,57	7,62	79,94	45,93	41,22	21,03	39,1
fev	36,89	77,51	40,92	34	135,02	91	69,2
mar	301,14	90,73	230,35	99,17	201,84	105,99	171,5
abr	112,16	196,01	320,28	168,14	168,52	110,02	179,2
mai	60,15	163,79	15,18	84,38	41,8	16,14	63,6
jun	47,28	28,96	3,4	52,36	16,94	48,28	32,9
jul	25,72	5,28	6,91	9,65	0,83	6,82	9,2
ago	1,5	35,64	1,12	0,16	1,14	1,79	6,9
set	2,3	1,41	7,73	0	0,05	7,44	3,2
out	6,03	0,6	21,52	7,56	10,68	1,15	7,9
nov	1,18	157,35	0,04	0,7	1,6	70,32	38,5
dez	64,06	0,28	50,2	11,94	80,06	8,9	35,9
<b>Total anual</b>	<b>696,98</b>	<b>765,18</b>	<b>777,59</b>	<b>513,99</b>	<b>699,7</b>	<b>488,88</b>	<b>657,1</b>

Tabela 5.3 – Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período normal

Período Normal	1965	1966	1967	1968	1969	1970	media mensal
Jan	159,77	55,73	42,04	90,4	101,71	163,47	102,2
fev	41,9	145,52	236,82	68,3	64,7	73,69	105,2
mar	228,09	52,41	315,02	363,33	182,49	167,54	218,1
abr	260,04	90,24	347	99,2	187,11	102,9	181,1
mai	47,2	44,69	163,32	147,47	62,54	8,86	79,0
jun	109,18	60,38	11,18	13,23	37,31	5	39,4
jul	7,86	28,64	9,22	14,31	60,29	11,61	22,0
ago	5,1	3,83	5,65	1,9	2,02	4,19	3,8
set	2,35	11,64	4,45	0,1	1,34	1,24	3,5
out	22,63	2,07	0,39	1,92	0,7	16,18	7,3
nov	2,05	43,85	4,05	11,45	1,58	7,81	11,8
dez	23,64	40,51	49,49	34,27	27,67	4,24	30,0
<b>Total anual</b>	<b>909,81</b>	<b>579,51</b>	<b>1188,63</b>	<b>845,88</b>	<b>729,46</b>	<b>566,73</b>	<b>803,3</b>

Tabela 5.4 – Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período chuvoso.

Período Chuvoso	1984	1985	1986	1987	1988	1989	media mensal
Jan	58,11	258,99	101,08	69,39	70,73	85,39	107,3
fev	41,62	339,14	202,49	119,48	109,67	56,64	144,8
mar	235,06	287,07	302,13	270,53	229,46	200,82	254,2
abr	328,06	393,49	237,55	114,56	332,28	299,58	284,3
mai	115,19	130,04	54,41	11,18	62,45	160,84	89,0
jun	5,81	113,96	28,16	42,92	20,84	49,97	43,6
jul	14,91	20,15	57,15	17,41	15,66	45,63	28,5
ago	12,8	8,07	22,68	1,25	0,08	12,5	9,6
set	3,67	5,06	2,77	0,7	1,56	2,29	2,7
out	9,72	9,22	2,02	1,06	1,72	37,99	10,3
nov	14,06	4,48	66,78	0,62	4,07	6,1	16,0
dez	18,01	144,79	11,95	0,34	104,03	130,69	68,3
<b>Total anual</b>	<b>857,02</b>	<b>1714,46</b>	<b>1089,17</b>	<b>649,44</b>	<b>952,55</b>	<b>1088,44</b>	<b>1058,5</b>



Tabela 5.5 – Precipitações mensais, média mensal e anual (mm) na bacia hidrográfica do Piancó para o período médio, série de 1937 a 1990.

Período Médio	Média mensal
Jan	83,07
fev	134,34
mar	219,72
abr	175,612
mai	67,55
jun	31,1
jul	17,58
ago	5,78
set	5,28
out	9,12
nov	21,38
dez	39,43
<b>Total anual</b>	<b>809,962</b>

Os dados das vazões afluentes aos reservatórios utilizados neste trabalho foram retirados de Luna *et al*, 1999.

Tabela 5.6 – Vazões mensais totais e anuais (m<sup>3</sup>/mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água - Período seco.

Ano Seco	1951	1952	1953	1954	1955	1956	média mensal
Jan	1033600	703600	0	767400	4563600	0	1178033
fev	952200	9426400	657400	10845400	27157400	25309200	12391333
mar	910000	33683000	18763200	20140600	51540600	75965400	33500467
abr	24378800	77631200	10460000	70136000	52640000	169896200	67523700
mai	42303800	84513400	8456000	70407800	34898600	81133400	53618833
jun	19403400	24376800	3216200	39922800	2792800	21824800	18589467
jul	3714200	785000	0	6750000	0	1222400	2078600
ago	0	0	0	0	0	0	0
set	0	0	0	0	0	0	0
out	0	0	455000	0	0	110000	94167
nov	46200	0	1066200	220000	0	1020000	392067
dez	0	910000	2886200	1225000	1005000	110000	1022700
<b>Total anual</b>	<b>92742200</b>	<b>232029400</b>	<b>45960200</b>	<b>220415000</b>	<b>174598000</b>	<b>376591400</b>	<b>190389366,7</b>

Tabela 5.7 – Vazões mensais totais e anuais (m<sup>3</sup>/mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água - Período normal

Ano Normal	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Jan	4282400	3485000	7251600	1961200	5180000	2040000
fev	2523600	6500000	10246000	14038200	16977400	1521200
mar	206102000	18103000	53168600	105068800	50035000	19884600
abr	126487000	54131400	42993400	386851800	76777600	57615400
mai	147961800	41701600	28111200	159919400	48227000	95788400
jun	52428800	10534200	1332800	98290000	17795800	35196000
jul	3690400	5342400	0	29512200	2296000	10133400
ago	0	0	0	732200	501200	824600
set	0	0	0	0	92400	0
out	0	0	110000	0	0	92400
nov	0	0	0	0	0	0
dez	0	0	0	0	1286200	46200
<b>Total anual</b>	<b>543476000</b>	<b>139797600</b>	<b>143213600</b>	<b>796373800</b>	<b>219168600</b>	<b>223142200</b>

Tabela 5.8 – Vazões mensais totais e anuais (m<sup>3</sup>/mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água - Período chuvoso

Ano Chuvoso	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Jan	7251600	1961200	5180000	2040000	16673200	3296200
fev	10246000	14038200	16977400	1521200	161234800	16685800
mar	53168600	105068800	50035000	19884600	541603800	337259600
abr	42993400	386851800	76777600	57615400	606574000	177287800
mai	28111200	159919400	48227000	95788400	236987800	171458000
jun	1332800	98290000	17795800	35196000	83291400	51157600
jul	0	29512200	2296000	10133400	13570800	21497200
ago	0	732200	501200	824600	46200	2427600
set	0	0	92400	0	0	455000
out	110000	0	0	92400	0	455000
nov	0	0	0	0	2000800	0
dez	0	0	1286200	46200	910000	0
<b>Total Anual</b>	<b>143213600</b>	<b>796373800</b>	<b>219168600</b>	<b>223142200</b>	<b>1662892800</b>	<b>781979800</b>

Tabela 5.9 – Vazões médias mensal total e anuais (m<sup>3</sup>/mês) afluentes ao sistema Coremas/Mãe D'água por cada um dos rios contribuintes - Ano médio

Ano Médio	Aguiar	Piancó	Emas	Vazão Total (m <sup>3</sup> /mês)
Jan	622285,7	2275000,0	299640,0	3196925,7
fev	3846857,1	9386000,0	2922480,0	16155337,1
mar	19174571,4	52897000,0	13098360,0	85169931,4
abr	35564571,4	103090000,0	24327600,0	162982171,4
mai	18838285,7	58682000,0	10347480,0	87867765,7
jun	5723142,9	20007000,0	3050520,0	28780662,9
jul	763714,3	4238000,0	860640,0	5862354,3
ago	0,0	143000,0	64680,0	207680,0
set	3142,9	26000,0	3960,0	33102,9
out	9428,6	39000,0	9240,0	57668,6
nov	28285,7	156000,0	19800,0	204085,7
dez	91142,9	481000,0	25080,0	597222,9
<b>Total anual</b>	<b>84665428,6</b>	<b>251420000,0</b>	<b>55029480,0</b>	<b>391114908,6</b>

A Figura 5.1 mostra as afluições do sistema Coremas Mãe D'Água para os diferentes períodos hidroclimáticos.

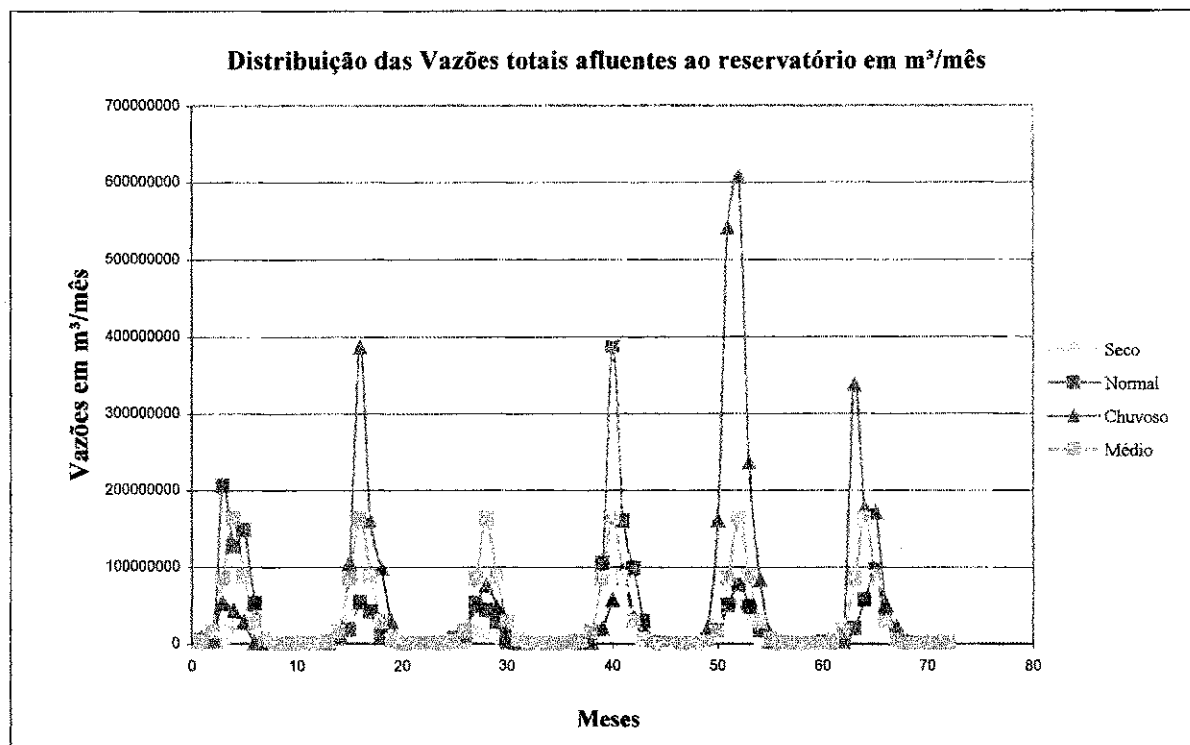


Figura 5.1 – Vazões afluentes ao reservatório Coremas e Mãe D'água nos diferentes períodos hidroclimáticos

### 5.3 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO NA ÁREA IRRIGÁVEL

Os dados das Tabelas 5.10 a 5.13 a seguir foram obtidos do posto climatológico de Sousa-PB e constam no Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, 1999.

Tabela 5.10 – Precipitações mensais em (mm) na área irrigável para o período seco

Período Seco	1948	1949	1950	1951	1952	1953	Total anual
Jan	65,5	0	24	70,8	17,4	8	31,0
Fev	28,5	215,8	73,3	189,6	16,2	21	90,7
Mar	97,6	247,5	217,8	18,1	115	373,5	178,3
Abr	114,4	276,7	221,9	130,6	235,1	123,9	183,8
Mai	101,2	281,7	15,2	116,3	48,4	45,5	101,4
Jun	42,8	24,7	0	60,4	6,3	22,1	26,1
Jul	0	0	0	5,1	8	8,8	3,7
Ago	0	0	0	0	0	0	0,0
Set	0	0	0	0	0	0	0,0
Out	0	0	20,2	29,1	0	0	8,2
nov	0	128,9	0	0	0	17,7	24,4
dez	34,7	0	11,4	24	45,5	0	19,3
<b>total anual</b>	<b>484,70</b>	<b>1175,30</b>	<b>583,80</b>	<b>644,00</b>	<b>491,90</b>	<b>620,50</b>	<b>666,7</b>

Tabela 5.11 – Precipitações mensais em (mm) na área irrigável para o período normal

Período normal	1965	1966	1967	1968	1969	1970	Total anual
jan	126	0	156	12	47,6	55	66,1
fev	227	18	250	136,4	346	235,5	202,2
mar	120	384	312	214,4	285,3	242,8	259,8
abr	32	206	88	92	225	349,4	165,4
mai	88	12	68,6	40	5	62	45,9
jun	52	0	0	8	15	101,4	29,4
jul	14	0	0	0	0	32,3	7,7
ago	0	0	0	0	0	0	0,0
set	0	0	0	0	0	0	0,0
out	0	0	0	0	35	0	5,8
nov	0	0	0	6	57	10,3	12,2
dez	0	0	7	22	214	6,3	41,6
<b>total anual</b>	<b>659,00</b>	<b>620,00</b>	<b>881,60</b>	<b>530,80</b>	<b>1229,90</b>	<b>1095,00</b>	<b>836,1</b>

Tabela 5.12 – Precipitações mensais em (mm) na área irrigável para o período chuvoso

Período chuvoso	1984	1985	1986	1987	1988	1989	Total anual
jan	0	214,1	66,6	292,9	58,7	10,5	107,13
fev	262,6	173,8	96,1	261,1	166,7	293,3	208,93
mar	344	88,5	173,4	208,3	282	245,6	223,63
abr	176,6	0	409	497,4	229,9	97	234,98
mai	101,4	0	68	108,4	91,1	22,5	65,23
jun	48,2	0	47	20	44	7	27,70
jul	40,8	0	20	21,6	45,1	0	21,25
ago	0	53	3	0	0	0	9,33
set	14,7	0	0	73	0	0	14,62
out	9,7	0	62,7	28,6	0	28	21,50
nov	0	0	0	39,7	0	3	7,12
dez	0	61,3	0	5	33,9	16	19,37
<b>total anual</b>	<b>998,00</b>	<b>590,70</b>	<b>945,80</b>	<b>1556,00</b>	<b>951,40</b>	<b>722,90</b>	<b>960,8</b>

Tabela 5.13 – Precipitações mensais em (mm) na área irrigável entre 1937 e 1990 para o período médio

Ano médio	1937 e 1990
jan	86,3
fev	154,5
mar	234,1
abr	170,6
mai	80,3
jun	28,6
ju	14,8
ago	4,8
set	3,7
out	7,9
nov	15,3
dez	31,8
<b>total</b>	<b>832,7</b>

A vazão média mensal demandada do reservatório ( $m^3/s$ ), obrigatória para atendimento prioritário, que corresponde a vazão liberada para atender as demandas de 33 municípios à jusante dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água é de  $0,8 m^3/s$ , que não está inserida na vazão de regularização, seja de  $4m^3/s$  ou de  $5,5m^3/s$ .

#### 5.4 – EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL NA ÁREA DO RESERVATÓRIO E NA ÁREA IRRIGÁVEL (mm/mês)

Tabela 5.14 – Evaporação média mensal em Coremas – Bacia Hidrográfica do Piancó e na área irrigável nas margens do reservatório em (mm)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
224	171	154	140	140	139	168	215	233	259	251	235

Fonte: Diagnóstico do PDRH das Bacias do Piancó/Piranhas (posto de Coremas).

Coefficiente de evaporação do tanque classe A= 0,75.

Tabela 5.15 - Evaporação média mensal no tanque Classe A em Sousa (mm).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
249,0	198,3	196,5	169,2	175,2	181,4	212,5	262,4	275,6	298,6	283,4	277,0	2.761,5

Fonte: SUDENE, 1998 – Posto climatológico de Sousa.

Os dados a seguir são referentes as entradas de dados do modelo CISDERGO 2.0

#### 5.5 – DADOS DE ENTRADAS DO MODELO CISDERGO 2.0

##### 5.5.1 – Dados Referentes ao Reservatório

Volumes iniciais do reservatório no processo iterativo de 6 anos ( $m^3$ ):

- $543,48 \times 10^6 m^3$ ; Correspondente a 40% do volume máximo do reservatório;
- $815,22 \times 10^6 m^3$ ; Correspondente a 60% do volume máximo do reservatório;
- $1\ 086,9 \times 10^6 m^3$ ; Correspondente a 80% do volume máximo do reservatório;
- $1\ 368,7 \times 10^6 m^3$ ; Correspondente a 100% do volume máximo do reservatório;

Os volumes mensais máximos do reservatório são iguais a 1368700000; o que correspondente a capacidade máxima de armazenamento do reservatório na cota 245.

Os volumes mensais mínimos do reservatório são referentes ao volume de 40% da capacidade do reservatório quando ele se encontra na cota 230, que é a cota de separação dos reservatórios.

A vazão extravasada máxima permitida pelo extravasor do reservatório é igual a  $386 m^3/s$ .

A vazão máxima para a calha do rio é igual a  $386 m^3/s$ .

Coefficientes da relação área x volume do reservatório:  $Ar(i) = Km \times Vr(i)^{mm}$ , obtidos através do programa Ajuste (Silva e Silva, 2000), que ajusta os pontos de funções lineares, linearizáveis e não lineares:  $Km = 28.38682361$  e  $mm = 0.72372153821$

#### 5.5.2 – Dados Referentes aos Canais

Capacidades máximas dos canais para transportar a água dos reservatórios para as áreas irrigadas:

- Perímetro irrigado de Sousa = 4 m<sup>3</sup>/s;
- Perímetro irrigado fictício às margens do reservatório = 2 m<sup>3</sup>/s

O custo de manutenção e implantação do canal, bem como as taxas anuais de amortização do investimento foram considerados igual a zero.

Preço da água aduzido do reservatório = 0,01209 (R\$/m<sup>3</sup>), somente para as várzeas de Sousa, em consonância com o que é praticado em alguns perímetros irrigados operados pelo o DNOCS na região Nordeste.

#### 5.5.3 – Dados Referentes ao Sistema de Bombeamento

Número de sistemas de bombeamento para uso geral:

- Perímetro irrigado de Sousa = 3;
- Perímetro irrigado das margens do reservatório = 1.

Número de horas diárias de bombeamento:

- Perímetro irrigado de Sousa = 20 horas;
- Perímetro irrigado das margens do reservatório = 20 horas.

Preço médio do Kwh para aduzir água dos poços para cada sistema:

- Perímetro irrigado de Sousa = 0,07 (R\$/KWH);
- Perímetro irrigado das margens do reservatório = 0,07 (R\$/KWH).

Capacidade de Bombeamento (l/s) de cada bomba:

- Perímetro irrigado de Sousa = 1600 l/s;
- Perímetro irrigado das margens do reservatório = 2500 l/s.

Rendimento do Sistema moto-bomba (%):

- Perímetro irrigado de Sousa = 79,2;
- Perímetro irrigado das margens do reservatório = 79,2.

Altura máxima de recalque das bombas (mca):

- Perímetro irrigado de Sousa = 70;

- Perímetro irrigado das margens do reservatório = 70.

Custo de implantação e manutenção do sistema motobomba e a taxa anual de amortização do investimento foram considerados igual a zero.

#### 5.5.4 – Dados referentes às culturas:

As culturas foram escolhidas a partir das citações das possíveis culturas que podem ser utilizadas nas várzeas de Sousa. Segundo o Projeto das Várzeas de Sousa, a adequação das culturas para cada tipo de mancha de solo dos perímetros das margens dos reservatórios foi realizada a partir do estudo de solos da bacia do rio Piancó (PDRH-PB), e do perímetro irrigado das várzeas de Sousa a partir do projeto das várzeas de Sousa. (Emepa, 1998), como podem ser vistos nas Tabelas 5.16 e 5.17, como também estão descritos no Capítulo III.

Tabela 5.16 – Tipos de solos utilizados e áreas, da bacia do rio piancó.

Unidades de Solo	Áreas	Tipos de solos
NC 7	500 ha	Bruno Não Cálcico
NC 10	1500 ha	Bruno Não Cálcico

PDRH-PB, (1988)

Tabela 5.17 – Unidades de solos das várzeas de Sousa.

Unidades de Solo	Áreas	Tipos de solos
Ae	1799 ha	Solo Aluviais,
V	2498 ha	Vertissolos,
PE	1799ha	Podzólicos,.





Tabela 5.20 – Coeficiente de cultivo das culturas

Culturas	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Manga	0,45	0,8	1,2	0,8
Goiaba	0,45	0,7	1	0,8
Melancia	0,45	0,75	1	0,75
Melão	0,45	0,75	1	0,75
Maracujá	0,55	0,7	0,9	0,7
Limão Tahiti	0,65	0,7	0,7	0,65
Abacate	0,45	0,78	1,2	0,78
Mamão	0,4	0,75	1	0,9
Uva	0,25	0,6	0,9	0,3
Côco	0,5	1	1	1
Graviola	0,45	0,8	1,2	1,2
Abacaxi	0,5	0,5	0,5	0,5
Banana	0,7	0,9	1,0	0,9

Fonte: Doorenbos, 1994; Publicações Técnicas FRUPEX e Gomes, 1999.

A Tabela 5.21 mostra a Produtividade de cada cultura em cada ano em Kg/ha e a Tabela 5.22 mostra a o custo médio de produção de cada cultura em R\$/ha.

Tabela 5.21 – Produtividade da cultura a cada ano em kg/ha/ano ou fruto\*/ha/ano.

Cultura	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6
Manga	0	0	2.000	5.000	8.000	15.000
Goiaba	1.000	4.000	12.000	16.000	16.000	16.000
Melancia safra	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Melancia entressafra	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Melão safra	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Melão entressafra	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Maracujá	8.000	15.000	10.000	8.000	15.000	10.000
Limão Tahiti	0	0	3.000	10.000	20.000	30.000
Abacate	0	0	2.000	8.000	15.000	15.000
Mamão	10.000	30.000	15.000	10.000	30.000	15.000
Uva	0	0	18.000	30.000	40.000	40.000
Côco*	0	0	20.000	30.000	40.000	40.000
Graviola	0	0	5.000	7.000	7.000	7.000
Abacaxi	0	33.000	0	33.000	0	33.000
Banana	0.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000

Fonte: Doorenbos, 1994; Publicações Técnicas FRUPEX; Gomes, 1999 e Banco do Nordeste 1997.

Tabela 5.22 – Custo médio de produção para cada cultura em R\$/ ha.

Cultura	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6
Manga	1.432	530	730	905	1.085	1.270
Goiaba	1.819	925	1.036	1.058	1.058	1.058
Melancia safra	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055
Melancia entressafra	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055
Melão safra	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485
Melão entressafra	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485
Maracujá	4.395	1.245	910	4.395	1.245	910
Limão Tahiti	1.910	841	841	871	1.002	1.051
Abacate*	1.977	1.556	1.802	1.901	1.135	1.135
Maniô	1.706	1.608	1.293	1.706	1.608	1.293
Uva	9.475	1.335	7.210	8.371	10.397	10.397
Côco	1.257	584	810	860	910	1.510
Graviola	1.907	653	773	893	893	893
Abacaxi	2.228	550	2228	550	2228	550
Banana	4589,26	3816,16	3890,31	3890,31	3890,31	3890,31

Fonte: Doorenbos, 1994; Publicações Técnicas FRUPEX; Gomes, 1999 e Banco do Nordeste 1997.

A taxa anual de desvalorização da moeda foi considerada igual a zero. As taxas anuais que refletem a expectativa de aumento ou diminuição da receita para cada cultura, independente da taxa de inflação, que podem ser positivos ou negativos indicando tendências de aumento ou diminuição de lucros, foram considerados iguais a zero.

#### 5.5.5 – Dados referentes aos sistemas de irrigação

A Tabela 5.23 mostra os tipos de sistemas de irrigação, suas eficiências e pressões requeridas para cada cultura.

Custo do investimento de implantação do sistema:

- gotejamento = 3.000,00 R\$/ha
- Microaspersão = 5.000,00 R\$/ha

Tabela 5.23 – Tipos de sistemas de irrigação, eficiências, pressões requeridas e custo de investimento para cada cultura.

Culturas	Tipo de sistema de irrigação	Eficiência da aplicação da irrigação por cultura (%)	Pressão requerida pelo sistema de irrigação da cultura (mca)	Custo do investimento de implantação do sistema em (R\$/ha)
manga	microaspersão	0.70	45.	5000.00
goiaba	microaspersão	0.70	45.	5000.00
melancia safra	gotejamento	0.95	30.	3000.00
melancia entressafra	gotejamento	0.95	30.	3000.00
melão safra	gotejamento	0.95	30.	3000.00
melão entressafra	gotejamento	0.95	30.	3000.00
maracujá	gotejamento	0.95	30.	3000.00
limão	microaspersão	0.70	45.	5000.00
abacate	microaspersão	0.70	45.	5000.00
mamão	microaspersão	0.70	45.	5000.00
uva	gotejamento	0.95	30.	3000.00
coco	gotejamento	0.95	30.	3000.00
graviola	microaspersão	0.70	45.	5000.00
abacaxi	microaspersão	0.70	45.	5000.00
banana	gotejamento	0.95	30.	3000.00

Fonte: Gomes - 1999

A Tabela 5.24 mostra como foram definidos os cenários, a partir dos volumes iniciais, em percentual da capacidade máxima dos reservatórios, a vazão de regularização utilizada de  $4\text{m}^3/\text{s}$  e  $5,5\text{m}^3/\text{s}$  ( $Q_{\text{reg}}$ ) e os cenários hidroclimáticos. Vale salientar que buscou-se garantir, no processo de otimização, a sustentabilidade hídrica dos reservatórios, ou seja, que o volume no último mês seja igual ou superior ao volume inicial.

Tabela 5.24 – Planilha de montagem dos cenários.

Cenários	Volumes Iniciais							
	40%		60%		80%		100%	
Q Reg.	$4\text{m}^3/\text{s}$	$5,5\text{m}^3/\text{s}$	$4\text{m}^3/\text{s}$	$5,5\text{m}^3/\text{s}$	$4\text{m}^3/\text{s}$	$5,5\text{m}^3/\text{s}$	$4\text{m}^3/\text{s}$	$5,5\text{m}^3/\text{s}$
SECO								
MÉDIO								
NORMAL								
CHUVOSO								

Q reg = Vazão de regularização

### 5.6 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 40% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE $4\text{m}^3/\text{s}$ .

São apresentados na Tabela 5.25 os resultados referentes aos cenários em que se considerou a vazão de regularização de  $4\text{m}^3/\text{s}$  e o volume inicial do reservatório com 40% da capacidade máxima dos mesmos. O que corresponde a situação em que o nível de água atinge a cota 230 m, que é a cota de ligação dos reservatórios e abaixo dessa cota ocorre o desligamento dos mesmos.

Tabela 5.25 – Resultados do cenário com volume inicial de 40% e vazão de regularização de  $4\text{m}^3/\text{s}$ .

Cenários $Q_{\text{reg}}=4\text{m}^3/\text{s}$	Condições de Volume inicial do reservatório			
	40% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	5397 ha	5397 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1687 ha	1687 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	7084 ha	7084 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = $1 \times 10^6$	R\$ 217,9	R\$ 217,9	R\$ 218,1	R\$ 217,9

Obs: CM = Capacidade máxima;

$Q_{\text{reg}}$  = Vazão de regularização;

Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

Pelos resultados fornecidos em termos de área alocadas para as culturas perenes e sazonais e receita líquida potencial para os quatro períodos hidroclimáticos, observa-se que foi possível atender 100% da área máxima planejada para a irrigação, que é de 7084 ha, dos quais 5397 ha foram irrigados com culturas perenes e 1687 com culturas sazonais. Apesar da similaridade de áreas alocadas para todos os cenários hidroclimáticos, a receita líquida potencial no período chuvoso foi maior que nos demais períodos. Isto ocorreu em virtude do período chuvoso ser um período com maior disponibilidade hídrica natural para as culturas reduzindo a necessidade de irrigação suplementar e com isto, reduzindo os custos com o uso da água de irrigação e de energia usados no processo de irrigação.

A seguir serão mostrados os gráficos dos volumes dos reservatórios as áreas alocadas para os perímetros e os volumes captados para cada perímetro irrigado para cada cenário hidroclimático.

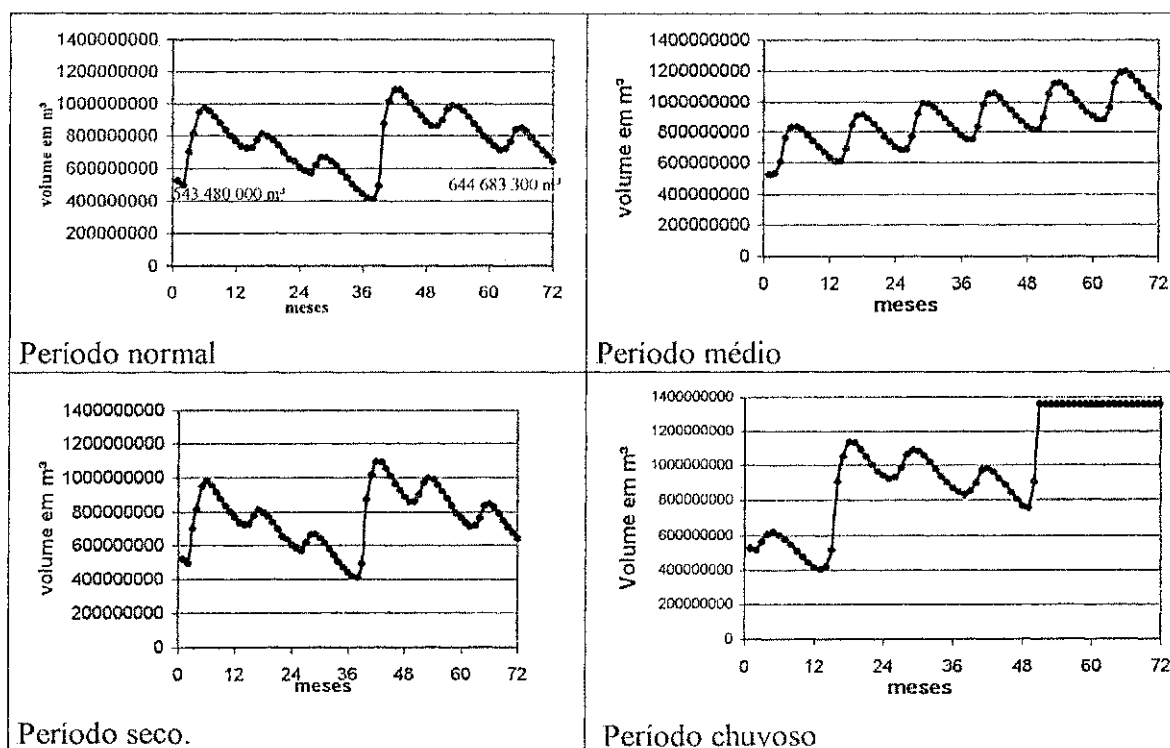


Figura 5.2 – Volumes mensais do reservatório em  $m^3$  para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.

Analisando os resultados apresentados na Figura 5.2 pode-se verificar que, para todos os períodos climáticos, o volume final do reservatório foi maior ou igual ao volume inicial, indicando que, para as situações testadas de vazão de regularização de  $4m^3/s$  e volume inicial de 40% da capacidade máxima, além de ser possível atender a 100% da área irrigada planejada, houve ganho de água pelo reservatório no final do processo. O ganho hídrico mais substancial nos períodos chuvoso e médio, onde houve um aumento no volume de 60% e 43,9%, respectivamente, em relação ao volume inicial.

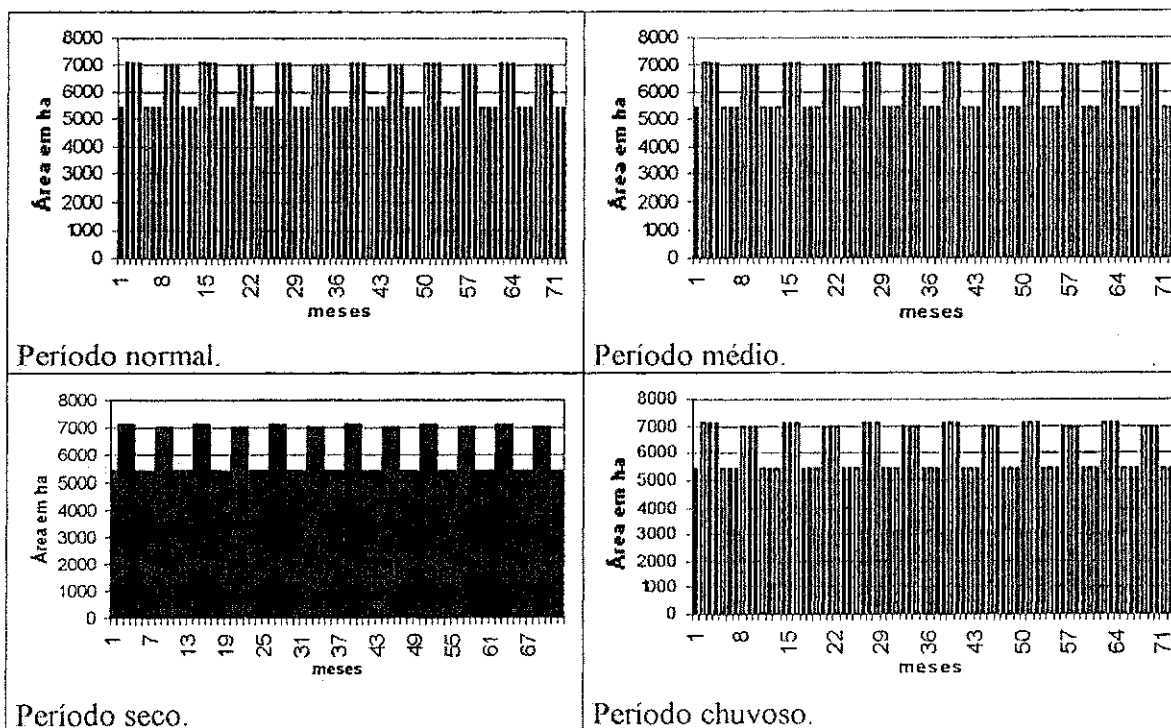


Figura 5.3 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em há, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.

A Figura 5.3 mostra as áreas totais alocadas para os períodos climáticos como pode ser visto a área máxima desejada foi irrigada, 5397 ha com culturas perenes e 1687 ha com culturas sazonais de safra e entressafra, A Tabela 5.26 mostra as áreas alocadas para cada cultura em cada unidade de produção por perímetro irrigado e também a receita líquida potencial gerada por cada cultura.

Tabela 5.26 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso em (ha).

		Período Normal							Período Médio						
CULTURAS	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,51	200	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,28	200	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,65	200	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		200	200	98.32	0	200	698	9,26	200	200	98.32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tabiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,56	250	500	0	0	700	1450	36,56
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,94	200	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		749	1198	0	0	0	1947	31,16	749	1198	0	0	0	1947	31,16
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,53	200	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Prod.		2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9
		Período Seco							Período Chuvoso						
CULTURAS	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,49	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,63	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		200	200	98.32	0	200	698	9,26	200	200	98.32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tabiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,49	250	500	0	0	700	1450	36,63
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,90	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		749	1198	0	0	0	1947	31,05	749	1198	0	0	0	1947	31,12
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,48	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Prod.		2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irig = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = Reccita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

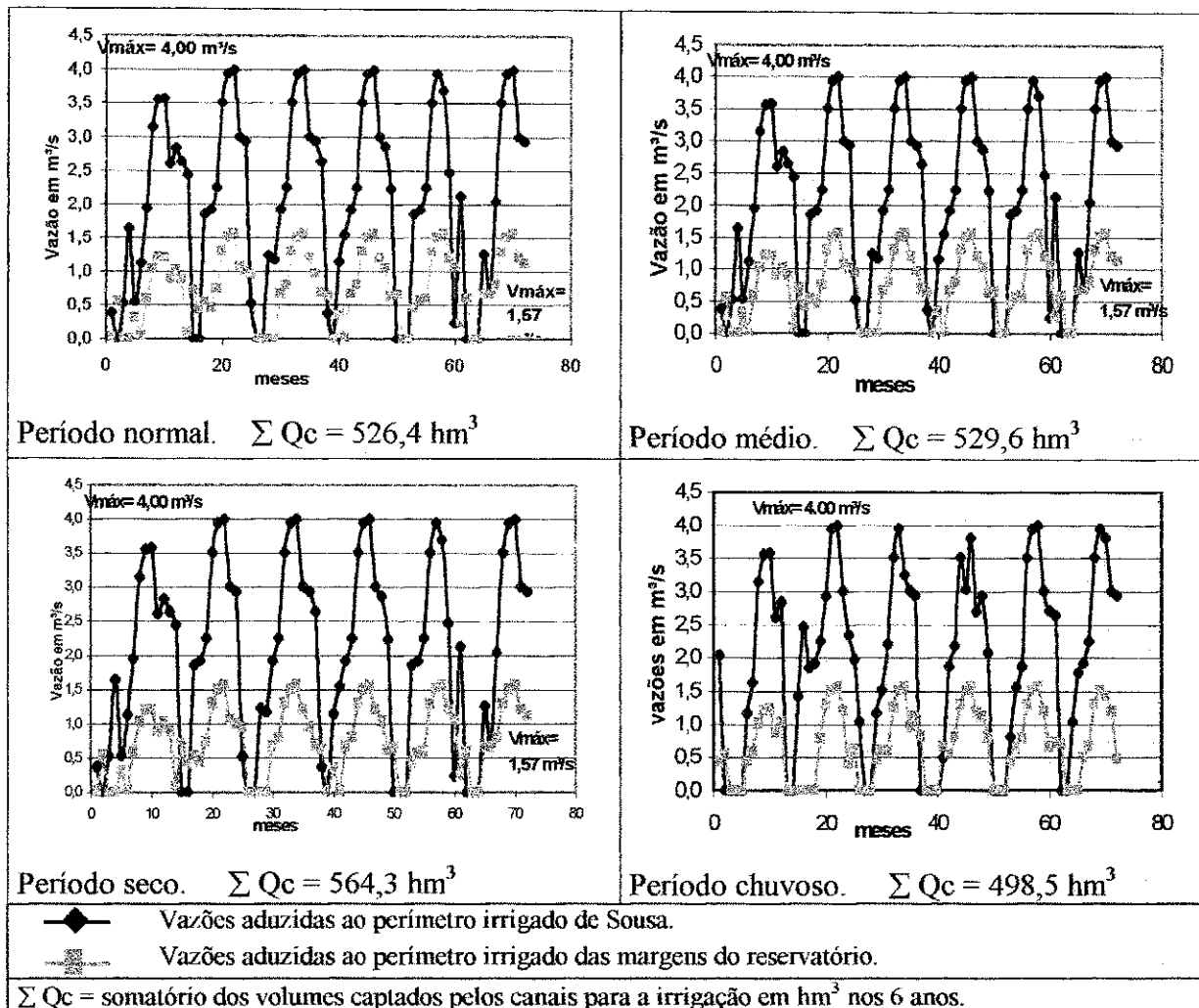


Figura 5.4 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.

Analizando a Figura 5.4 observou-se que durante os meses de estiagem o volume de água aduzido atingiu a capacidade máxima do canal para o perímetro irrigado de Sousa.

### 5.7 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 60% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE $4\text{m}^3/\text{s}$ .

O cenário com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório é o mais representativo do sistema, uma vez que é o que acontece com mais frequência no mês de janeiro segundo a série histórica de volumes dos reservatórios de Coremas e Mãe D'Água. Para todos os períodos hidroclimáticos foi possível atender a área desejada 7084 ha, sendo 5397 ha para as culturas perenes e 1687 ha para as culturas sazonais de safra e entressafra, conforme mostra a Tabela 5.27 o período seco apresenta receita líquida potencial de R\$ 217 600 000,00 os períodos médio e normal com uma receita líquida potencial de R\$ 217 900 000,00 e o período chuvoso com R\$ 218 100 000,00. Apesar de



irrigar a mesma área a receita líquida potencial foi maior, isso é devido ao aproveitamento da precipitação e com isso a redução no volume de água captado para os perímetros como pode ser visto na Figura 5.7, uma vez que foi computado o custo da água.

Tabela 5.27 – Resultados do cenário com volume inicial de 60% e vazão de regularização de 4m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =4m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	60% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Árca	Árca	Árca	Árca
Culturas perenes	5397 ha	5397 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1687 ha	1687 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	7084 ha	7084 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = 1 x 10 <sup>6</sup>	R\$ 217,6	R\$ 217,9	R\$ 218,1	R\$ 217,9

Obs: CM = Capacidade máxima;  
 Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
 Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

A seguir serão mostrados os gráficos dos volumes aduzidos, das áreas alocadas para os perímetros e os gráficos dos volumes de água no sistema de reservatórios para cada período hidroclimático.

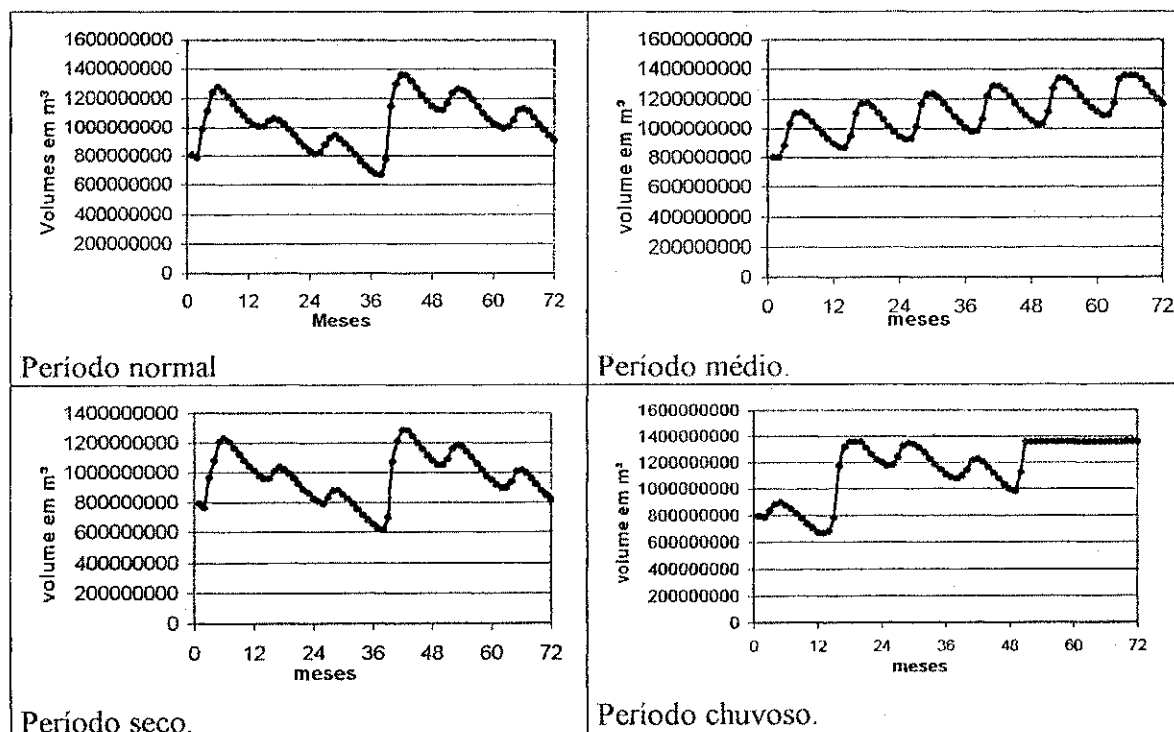


Figura 5.5 – Volumes mensais do reservatório em m<sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.

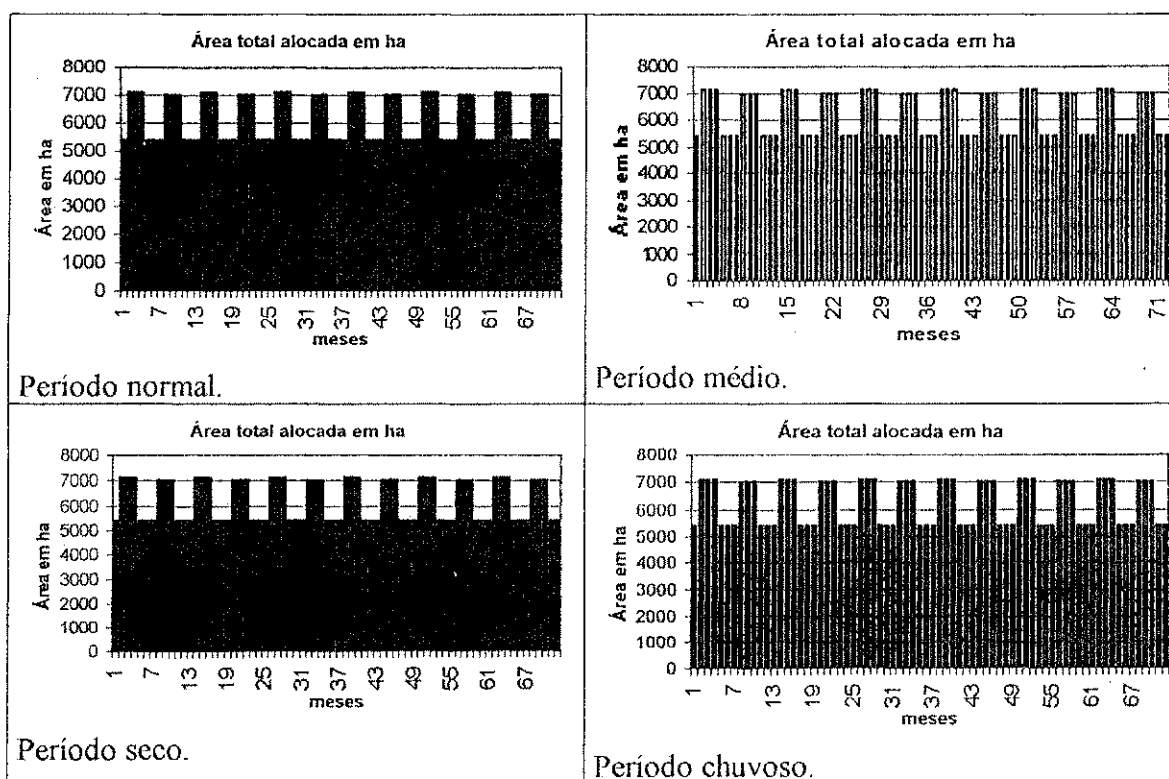


Figura 5.6 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.

De acordo com a Figura 5.5, também neste cenário o volume final do reservatório foi maior ou igual ao volume inicial do mesmo. A Figura 5.6 mostra que para todos os períodos a área total é atigida, A Tabela 5.28 mostra as áreas alocadas para cada cultura em cada unidade de produção e receitas líquidas para cada cultura.

Tabela 5.28 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.

		Período Normal							Período Médio							
CULTURAS	U.Prod.	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS	
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,51	200	200	200	100	200	900	14,51	
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,28	200	200	200	100	200	900	14,27	
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,65	200	200	187	0	200	787	10,65	
Melão entressafra (ha)		200	200	98.32	0	200	698	9,26	200	200	98.32	0	200	698	9,26	
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,56	250	500	0	0	700	1450	36,56	
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,94	200	200	200	200	200	1000	53,93	
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacaxi (ha)		749	1198	0	0	0	1947	31,16	749	1198	0	0	0	1947	31,16	
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,53	200	200	200	200	200	1000	47,52	
Total por U.Pprod.		2199	2898	1085,32	600	1900	8682	217,9	2199	2898	1085,32	600	1900	8682	217,9	
		Período Seco							Período Chuvoso							
CULTURAS	U.Prod.	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS	
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,49	200	200	200	100	200	900	14,52	
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,28	
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,63	200	200	187	0	200	787	10,66	
Melão entressafra (ha)		200	200	98.32	0	200	698	9,26	200	200	98.32	0	200	698	9,26	
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,49	250	500	0	0	700	1450	36,63	
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,90	200	200	200	200	200	1000	53,95	
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacaxi (ha)		749	1198	0	0	0	1947	31,05	749	1198	0	0	0	1947	31,12	
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,48	200	200	200	200	200	1000	47,54	
Total por U.Pprod.		2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,6	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	218,1	

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irig = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = Receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

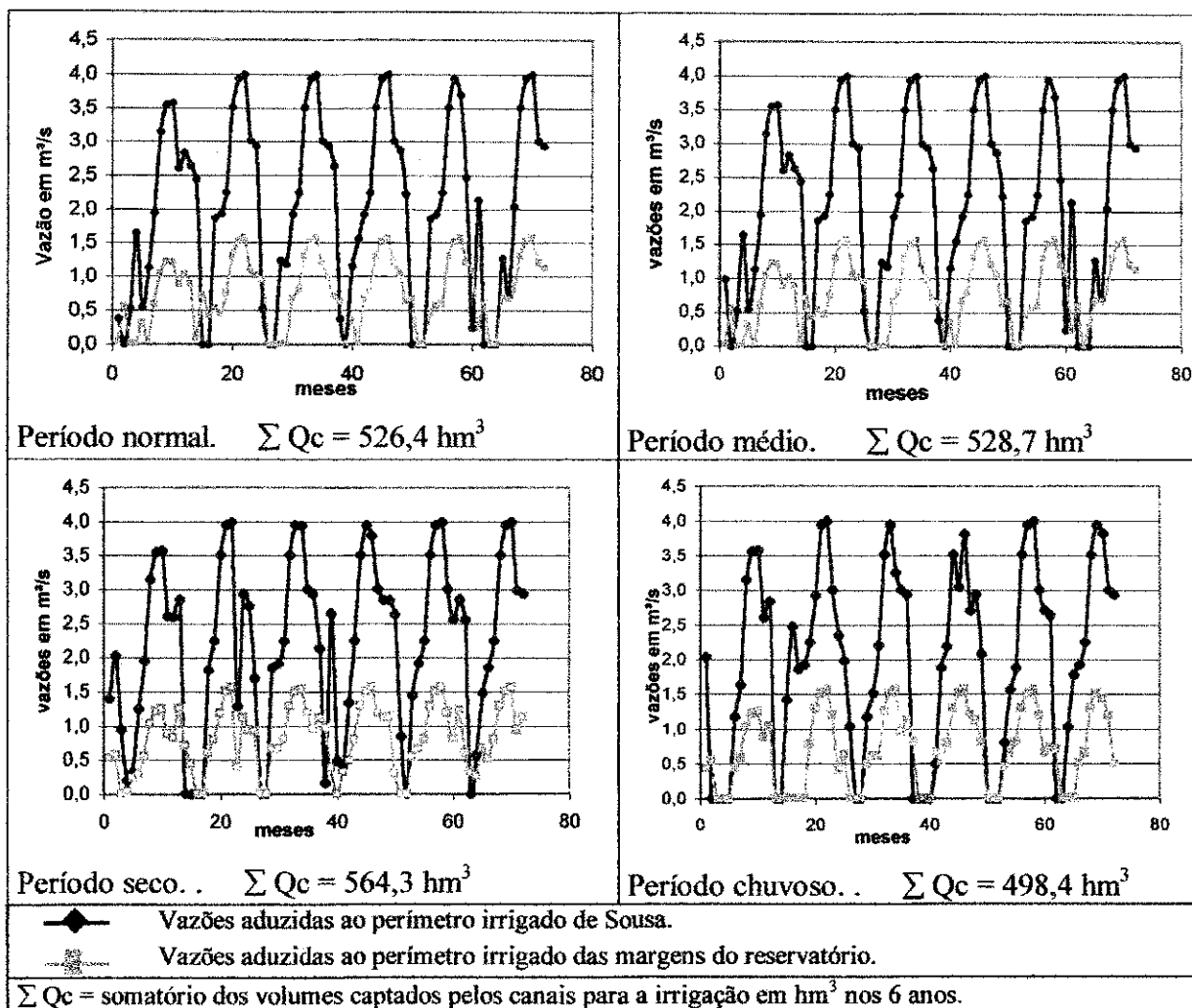


Figura 5.7 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para os períodos os seco, normal e chuvoso com volume inicial de 60%da capacidade máxima do reservatório.

Para o período chuvoso os volumes de água captados foram menores que os demais períodos e para o período seco os volumes de água captados foram maiores que os períodos médio e normal como pode ser visto na Figura 5.7. Para este cenário também ocorreu um volume aduzido, em alguns meses, no limite da capacidade do canal para o perímetro irrigado de Sousa.

### 5.8 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 80% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 4m<sup>3</sup>/s.

Segundo a série histórica de 33 anos de volumes observados dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água no mês de janeiro fornecido pelo LMRS-Pb, observa-se a ocorrência de volumes próximos dos 80% em 48,5% dos registros. Para os períodos hidroclimáticos normal, médio e chuvoso a área desejada 7084 ha pode ser irrigada, dos quais 5397 ha com culturas perenes e 1687 ha com culturas sazonais. Para o período hidroclimáticos seco a área desejada 7084 ha não pode ser irrigada em sua totalidade. Neste caso a área alocada para a irrigação foi de 5574 ha, sendo 3887 ha para as culturas perenes e 1687 ha para as culturas sazonais de safra e entressafra, com uma receita líquida potencial de R\$ 194 700 000,00, os períodos médio e normal com uma receita líquida potencial de R\$ 217 900 000,00 e o cenário chuvoso com R\$ 218 100 000,00 conforme a Tabela 5.29.

Tabela 5.29 – Resultados do cenário com volume inicial de 80% e vazão de regularização de 4m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =4m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	80% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	3887,5 ha	5397 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1687 ha	1687 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	5574 ha	7084 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = 1 x 10 <sup>6</sup>	R\$ 194,7	R\$ 217,9	R\$ 218,1	R\$ 217,9

Obs: CM = Capacidade máxima;  
Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

Nas Figuras 5.8, 5.9, 5.10 e Tabela 5.30 são mostrados os gráficos dos volumes mensais do reservatório, área total alocada para os perímetros, vazões aduzidas para os perímetros e áreas irrigadas por perímetros por unidades de produção para todos os períodos hidroclimáticos respectivamente.

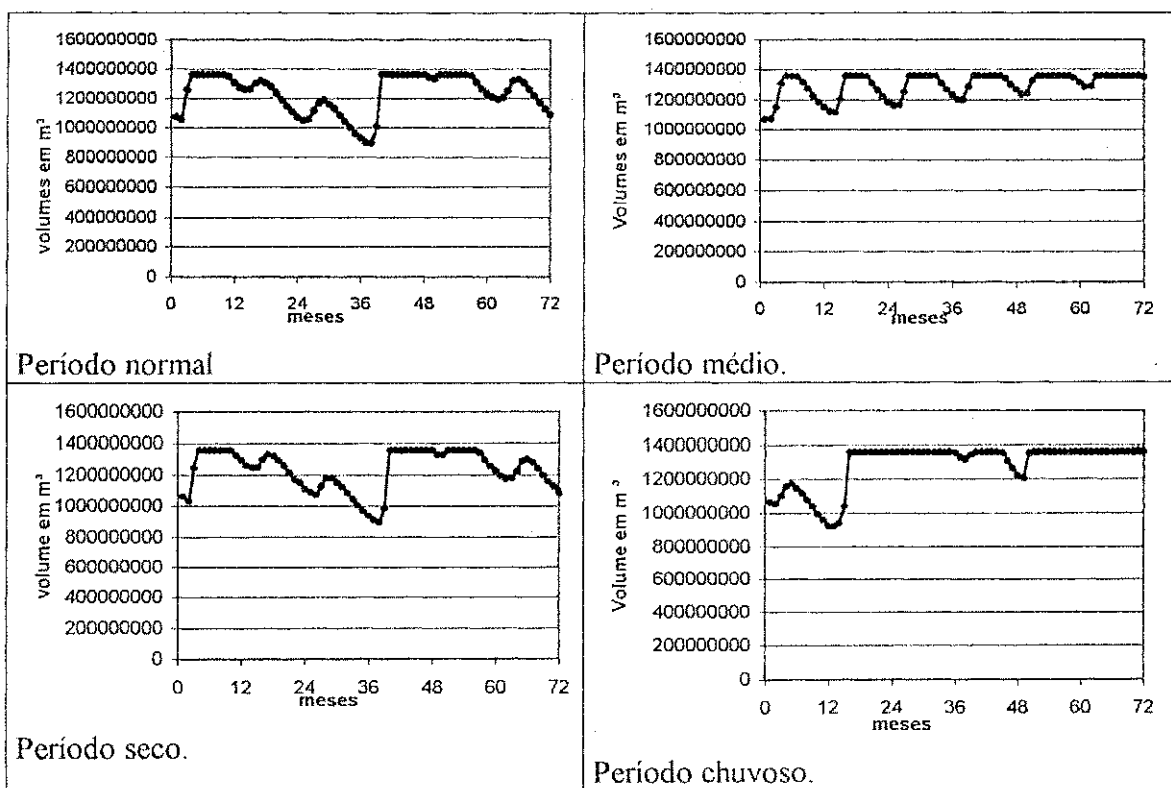


Figura 5.8 – Volumes mensais do reservatório em m³ para o períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.

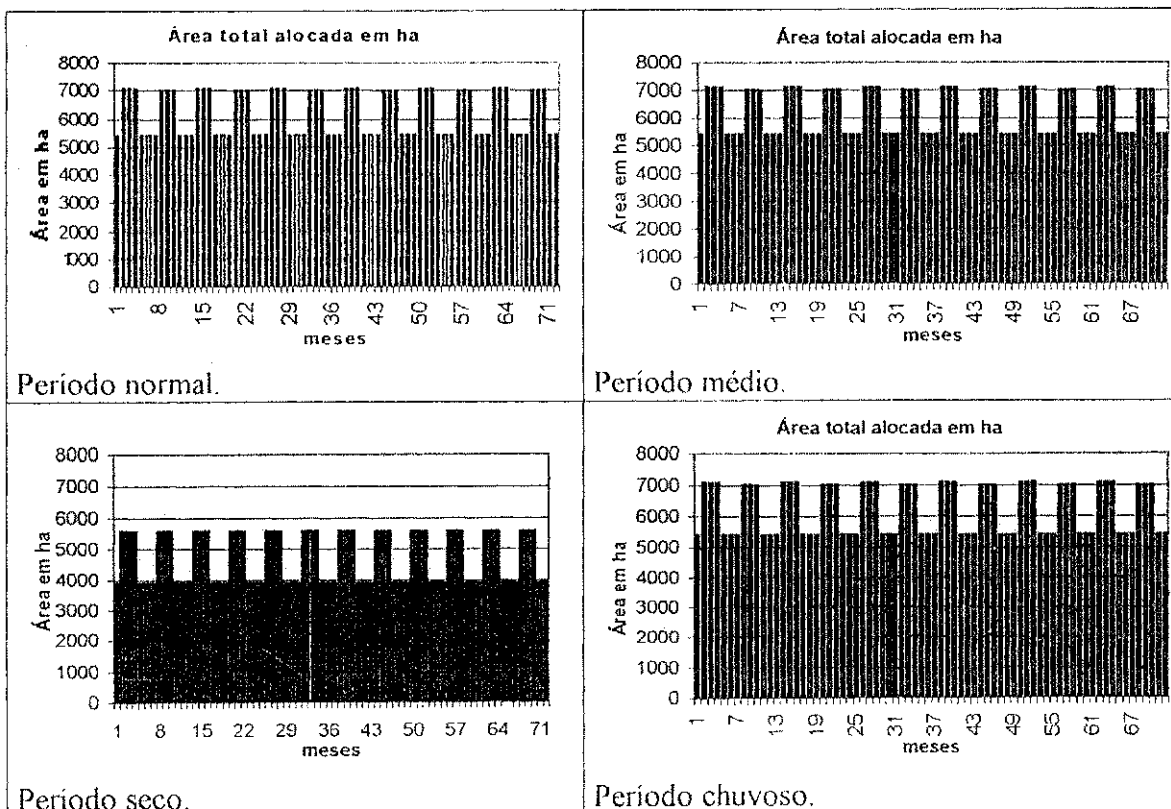


Figura 5.9 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em há, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.

Tabela 5.30 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.

		Período Normal							Período Médio						
		Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS
CULTURAS	U.Prod.	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2				
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,51	200	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,65	200	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		200	200	98.32	0	200	698	9,26	200	200	98.32	0	200	698	9,26
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,56	250	500	0	0	700	1450	36,56
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,93	200	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacaxi (ha)		749	1198	0	0	0	1947	31,16	749	1198	0	0	0	1947	31,16
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,52	200	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Pprod.		2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9
		Período Seco							Período Chuvoso						
		Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> RS
CULTURAS	U.Prod.	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2				
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,49	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra		200	200	187	0	200	787	10,63	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,42	200	200	98.32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,49	250	500	0	0	700	1450	36,59
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,9	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abacax (ha)		218.77	218.77	0	0	0	437,53	6,97	218.77	218.77	0	0	0	1947	31,22
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,48	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Pprod.		1668,7	1918,7	1174	600	1900	7261,53	194,7	1668,7	1918,7	1174	600	1900	8682	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irri = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

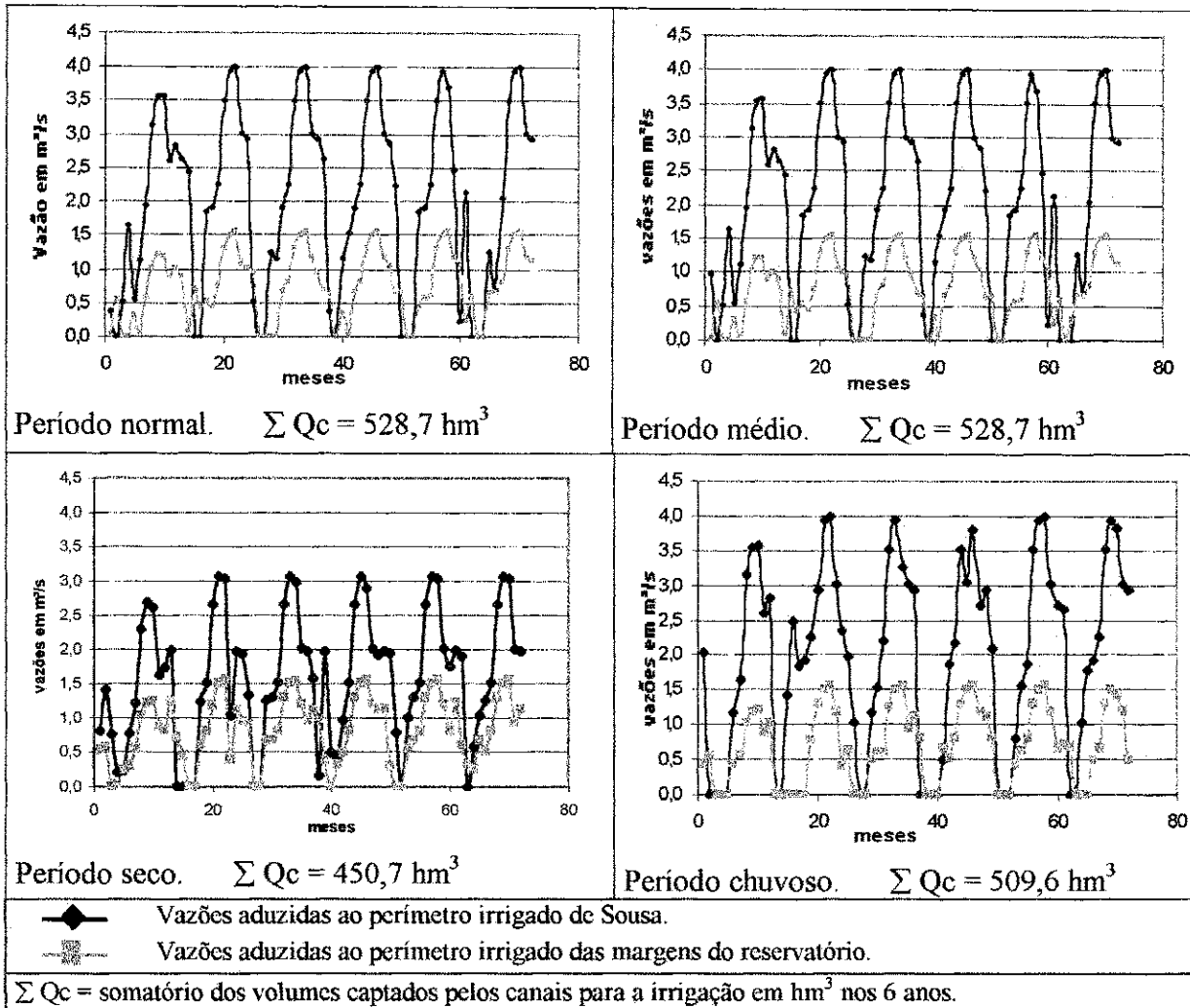


Figura 5.10 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.

Apesar deste cenário iniciar com o volume de 80% da capacidade máxima do reservatório, não há afluência suficiente para manter a sustentabilidade do sistema e os perímetros ao mesmo tempo, no período seco. Como foi um dos requisitos do trabalho a sustentabilidade hídrica do sistema conforme a Figura 5.8, não há água suficiente para irrigar a área total dos perímetros e manter a sustentabilidade do sistema, e com isso a redução de área e de receita líquida potencial conforme a Figuras 5.9 e as Tabelas 5.29 e 5.30. Na Figura 5.10 consta os volumes captados para os perímetros irrigados para todos os períodos, onde observou-se que, no período seco, o fator limitante não foi a capacidade do canal para as várzeas de Sousa, uma vez que a vazão aduzida pelo mesmo não atingiu em nenhum momento a capacidade máxima do canal de  $4\text{m}^3/\text{s}$ . Fica comprovado que neste caso, o fator limitante foi o critério de sustentabilidade hídrica dos reservatórios.



### 5.9 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 100% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 4m<sup>3</sup>/s.

Elaborou-se um cenário com volume inicial dos reservatórios com 100% da sua capacidade. Este cenário apesar de representar uma situação extrema, com pouquíssima probabilidade de ocorrência, ocorreu no ano de 1974. Atualmente, se torna mais importante do ponto de vista teórico, uma vez que as crescentes demandas de água e a construção de novos barramentos a montante dos reservatórios tornará a ocorrência deste cenário ainda mais difícil. Nas Tabelas 5.32 e 5.33 são apresentados os resultados de áreas irrigadas e receitas líquidas. Observou-se que para os períodos seco e normal só foi possível irrigar 18,5% e 36,4% da área total, respectivamente. Para os períodos chuvoso e médio ainda foi possível irrigar a totalidade da área de 7084 ha.

Comparando esses resultados com os anteriores, em que o volume inicial dos reservatórios eram inferiores, tem-se uma situação aparentemente incoerente, que é o fato de se irrigar menos áreas. Isto pode ser explicado em função da restrição de sustentabilidade hídrica que deve ser obedecida. Dependendo do comportamento temporal das afluições, é necessário reduzir as áreas irrigadas para atender o critério de sustentabilidade hídrica. Neste contexto, torna-se interessante observar a diferença de áreas irrigadas entre os períodos normal e médio. Ambos tem praticamente o mesmo valor de precipitação anual média, mas o período normal apresenta variabilidade anual de precipitações e vazões o que provoca uma redução de 18,6% na área irrigada devido a necessidade de se garantir sustentabilidade hídrica. Áreas irrigadas menores implicam em redução de receita líquida potencial como mostra a Tabela 5.32 e a Figura 5.12.

Analisando a Figura 5.11 verifica-se que para o período médio o reservatório não atuou como fonte de armazenamento e redistribuição temporal de água. Para os outros períodos ressalta-se apenas um único ano em cada período em que o reservatório realmente tem requisitada a sua água. Chegando a usar 14,06%, 14,06%, 13,2% do seu volume acumulado para os períodos normal, seco e chuvoso, respectivamente.

Tabela 5.31 – Planilha de resultados do cenário com volume inicial de 100% e vazão de regularização de 4m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =4m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	100% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	2816,2 ha	4079,9 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1687 ha	1687 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	4503.2 ha	5766,9 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = 1 x 10 <sup>6</sup>	R\$ 172.2	R\$ 197.98	R\$ 218.1	R\$ 217.9

Obs: CM = Capacidade máxima;  
 Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
 Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

A seguir serão mostrados os gráficos dos volumes captados, áreas alocadas para os perímetros e os gráficos dos volumes para cada período hidroclimático.

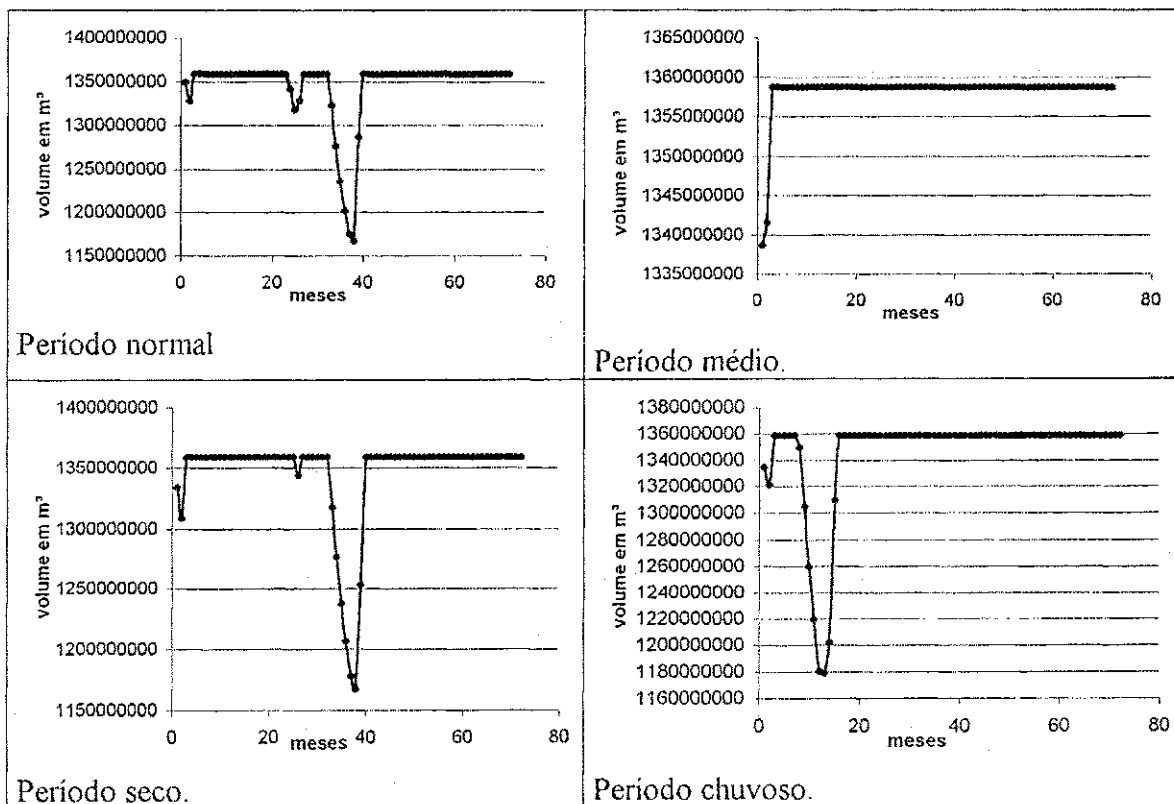


Figura 5.11 – Volumes mensais do reservatório em m<sup>3</sup> para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.

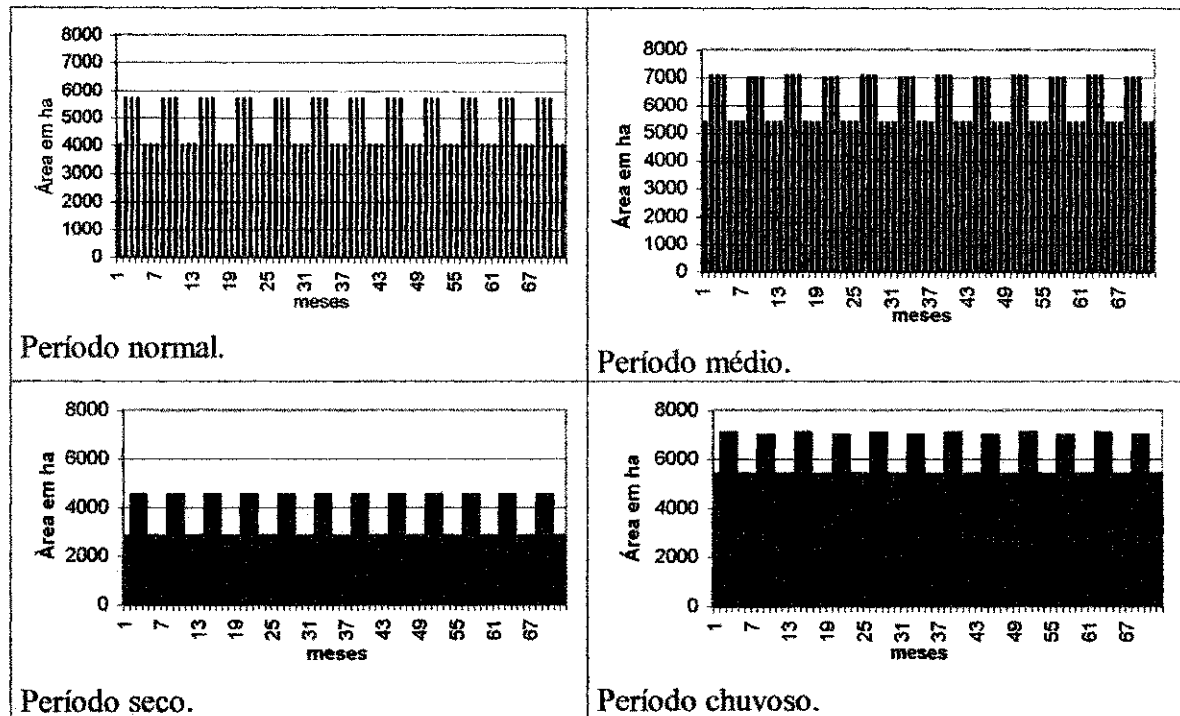


Figura 5.12 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.

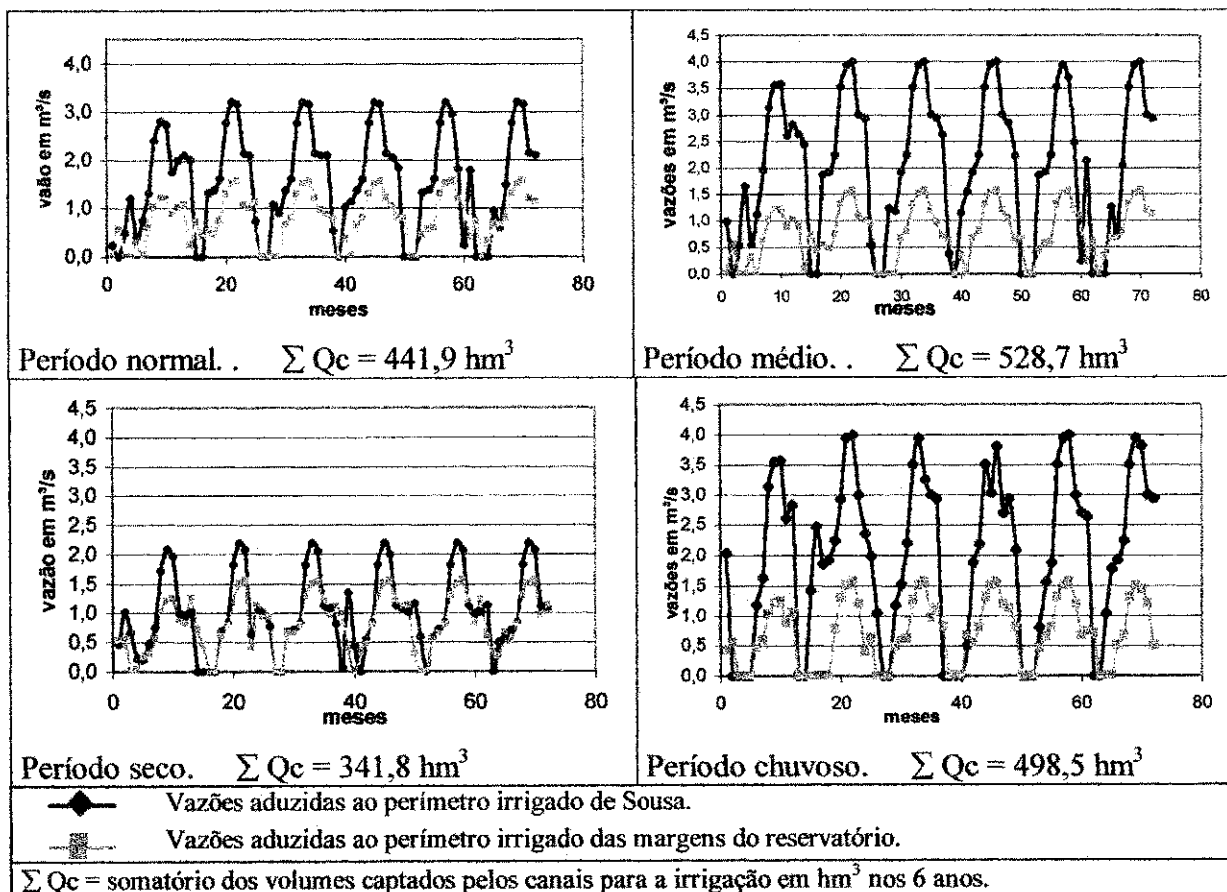


Figura 5.13 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$  para os cenários seco médio e normal e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.

Tabela 5.32 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.

Período Normal									Período Médio						
CULTURAS	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,51	200	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,65	200	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,42	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,56	250	500	0	0	700	1450	36,56
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,93	200	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		314,98	314,98	0	0	0	629,95	10,08	749	1198	0	0	0	1947	31,16
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,52	200	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Pprod.		1764,9	2014,9	1174	600	1900	7453,95	197,98	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9
Período Seco									Período Chuvoso						
CULTURAS	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,49	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra		200	200	187	0	200	787	10,63	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		200	200	187	0	200	698	10,42	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		58,1	58,1	0	0	700	816,2	20,9	250	500	0	0	700	1450	36,59
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,9	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	0	0	0	749	1198	0	0	0	1947	31,22
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,48	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Pprod.		1918,7	1918,7	1085,3	600	1900	6190,2	172,2	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irig = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

### 5.10 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 40% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5,5m<sup>3</sup>/s.

Para este cenário com vazão regularizada de 5,5 m<sup>3</sup>/s e volume inicial de 40% da capacidade máxima dos reservatórios as áreas planejadas de 7084 ha, só foram alocadas totalmente para os períodos médio e chuvoso, com 5397 ha para as culturas perenes e 1687 ha para as culturas sazonais, com receita líquida potencial de R\$ 217 900 000,00 e R\$ 218 100 000,00 para os períodos médio e chuvoso, respectivamente, como pode ser visto nas Tabela 5.34e 5.35. Para os períodos hidroclimáticos seco e normal a área desejada de 7084 ha não pode ser totalmente irrigada e com isso a receita líquida potencial foi reduzida conforme as Tabela 5.33 e 5.34.

Tabela 5.33 – Resultados do cenário com volume inicial de 40% e vazão de regularização de 5,5m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =5,5m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	40% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	3449.3 ha	4558 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1687 ha	1687 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	5136,3 ha	6245 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = l x 10 <sup>6</sup>	R\$ 187.9	R\$ 205.6	R\$ 218.1	R\$ 217.9

Obs: CM = Capacidade máxima;  
Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

Nas Figuras 5.14, 5.15, 5.16 e Tabela 5.34 são mostrados os gráficos dos volumes mensais do reservatório, área total alocada para os perímetros, vazões aduzidas para os perímetros e áreas irrigadas por perímetros por unidades de produção para todos os períodos hidroclimáticos respectivamente.

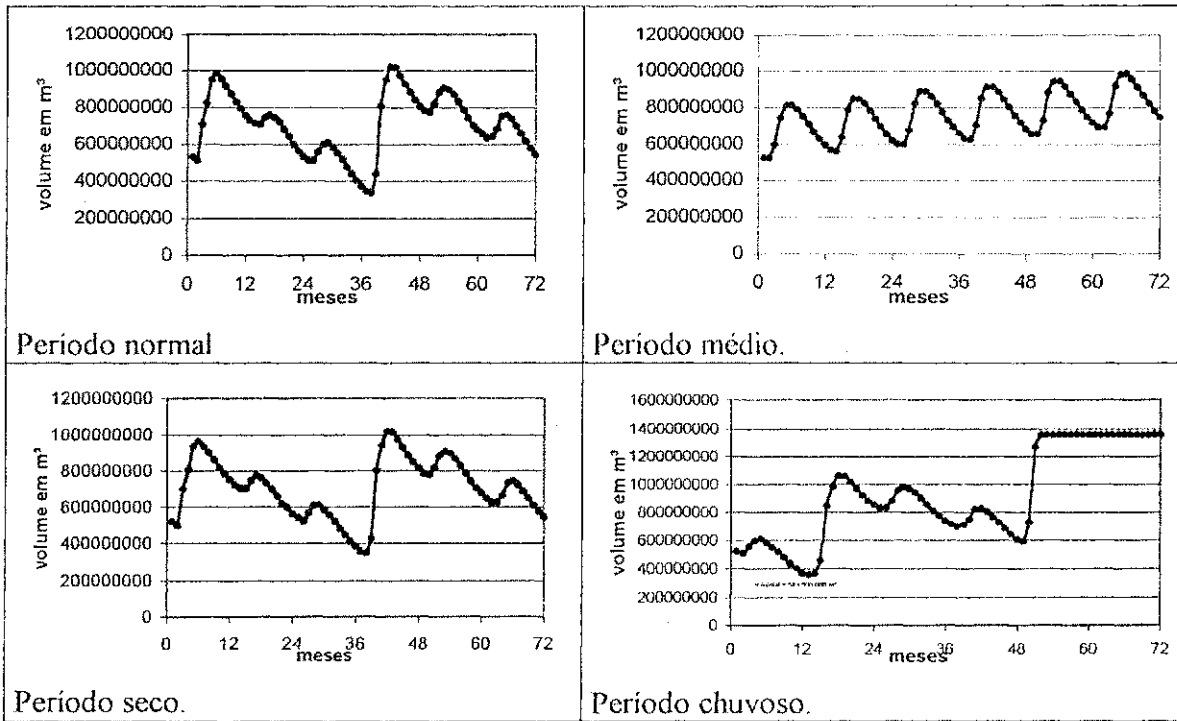


Figura 5.14 – Volumes mensais do reservatório em  $m^3$  para os cenários seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.

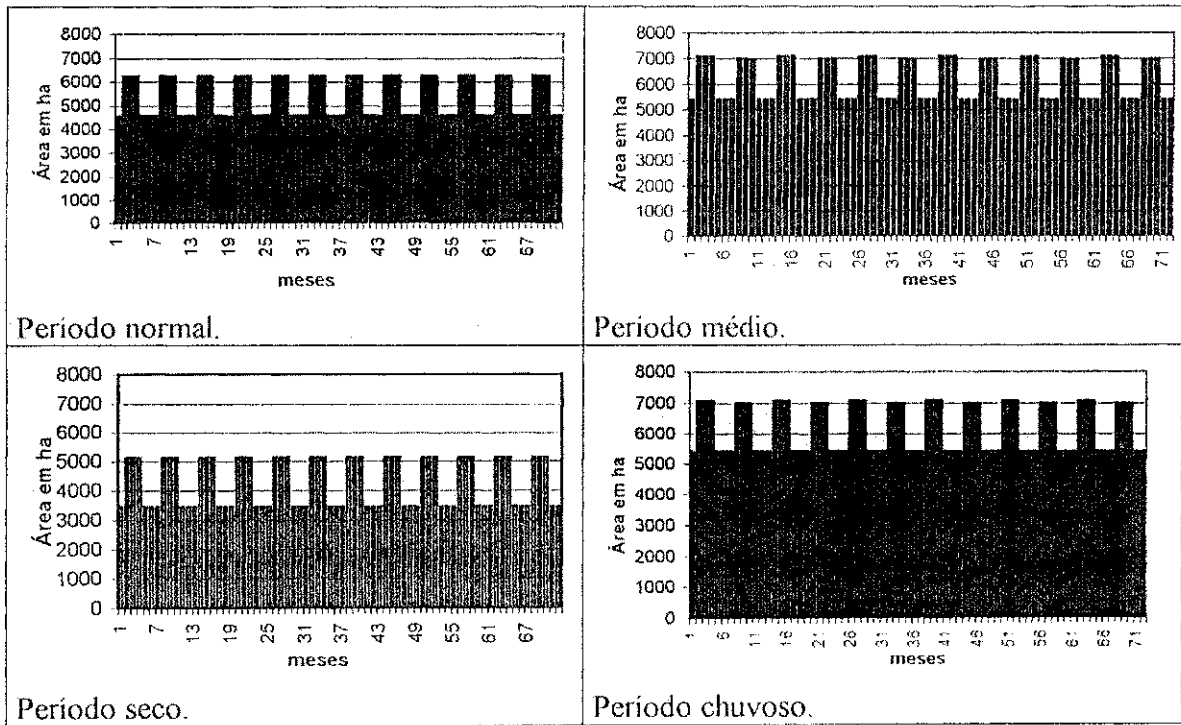


Figura 5.15 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.

Tabela 5.34 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso em (ha).

		Período Normal							Período Médio						
CULTURA S	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,51	900	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	900	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,65	787	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,42	787	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		250	500	0	0	700	1450	36,6	1450	500	0	0	700	1450	36,6
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,9	1000	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola(ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		554,03	554,03	0	0	0	0	17,7	0	1198	0	0	0	1947	31,16
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1108	47,5	1108	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Pprod.		2004,2	2254	1174	600	1900	1000	205,6	1000	2898	1085,3	600	1900	8682	217,9
		Período Seco							Período Chuvoso						
CULTURA S	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,49	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra		200	200	187	0	200	787	10,63	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,42	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		250	499,34	0	0	700	1449,3	36,48	250	500	0	0	700	1450	36,63
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,9	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	0	0	0	749	1198	0	0	0	1947	31,22
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,48	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Pprod.		1450	1699,34	1174	600	1900	6823,34	187,9	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irig = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

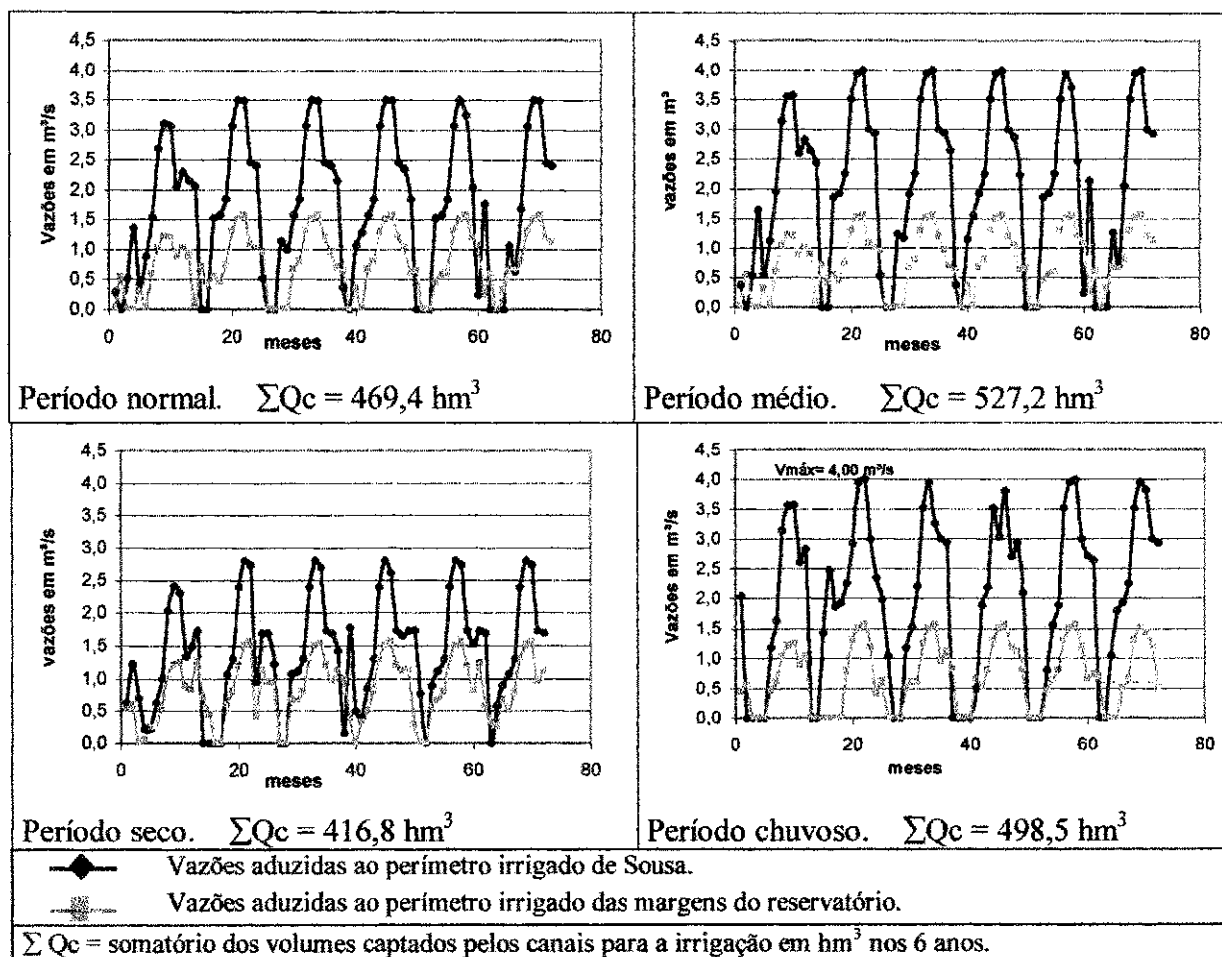


Figura 5.16 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 40% da capacidade máxima do reservatório.

Observa-se que para os períodos normal e seco, o fator limitante foi realmente a questão hídrica, uma vez que não foi atingido em nenhum momento a capacidade do canal para as várzeas de Sousa que é de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , chegando-se apenas a  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  no período normal e  $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$  no período seco como pode ser visto na Figura 5.16. O critério de sustentabilidade hídrica dos reservatórios foi obedecido pelo modelo conforme a Figura 5.14. A Figura 5.15 mostra que a área desejada não foi totalmente alocada para os perímetros, com isso as áreas para cada cultura e a receita líquida potencial foram reduzidas para as culturas para os períodos seco e normal, como mostra a Tabela 5.34.



### 5.11 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 60% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5,5 m<sup>3</sup>/s.

O cenário com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório é o mais representativo do reservatório segundo a série histórica de volumes dos reservatórios de Coremas e Mãe D'Água. Considerando uma vazão regularizada de 5,5 m<sup>3</sup>/s, e os cenários hidroclimáticos seco e normal, a área planejada de 7084 ha não pode ser totalmente irrigada e com isso as áreas e as receitas líquidas potencial para as culturas foram reduzidas conforme pode ser visto nas Tabelas 5.35 e 5.36. Para os períodos hidroclimáticos médio e chuvoso a área planejada foi totalmente alocada.

Tabela 5.35 – Resultados do cenário com volume inicial de 60% e vazão de regularização de 5,5m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =5,5m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	60% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	2517,8 ha	3175 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1800 ha	1687 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	4317,8 ha	4862 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = 1 x 10 <sup>6</sup>	R\$ 160,1	R\$ 181,2	R\$ 218,1	R\$ 217,9

Obs: CM = Capacidade máxima;  
Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

A seguir serão mostrados os gráficos dos volumes dos reservatórios das áreas alocadas para os perímetros e os gráficos dos volumes captados para cada perímetro irrigado e para cada período hidroclimático.

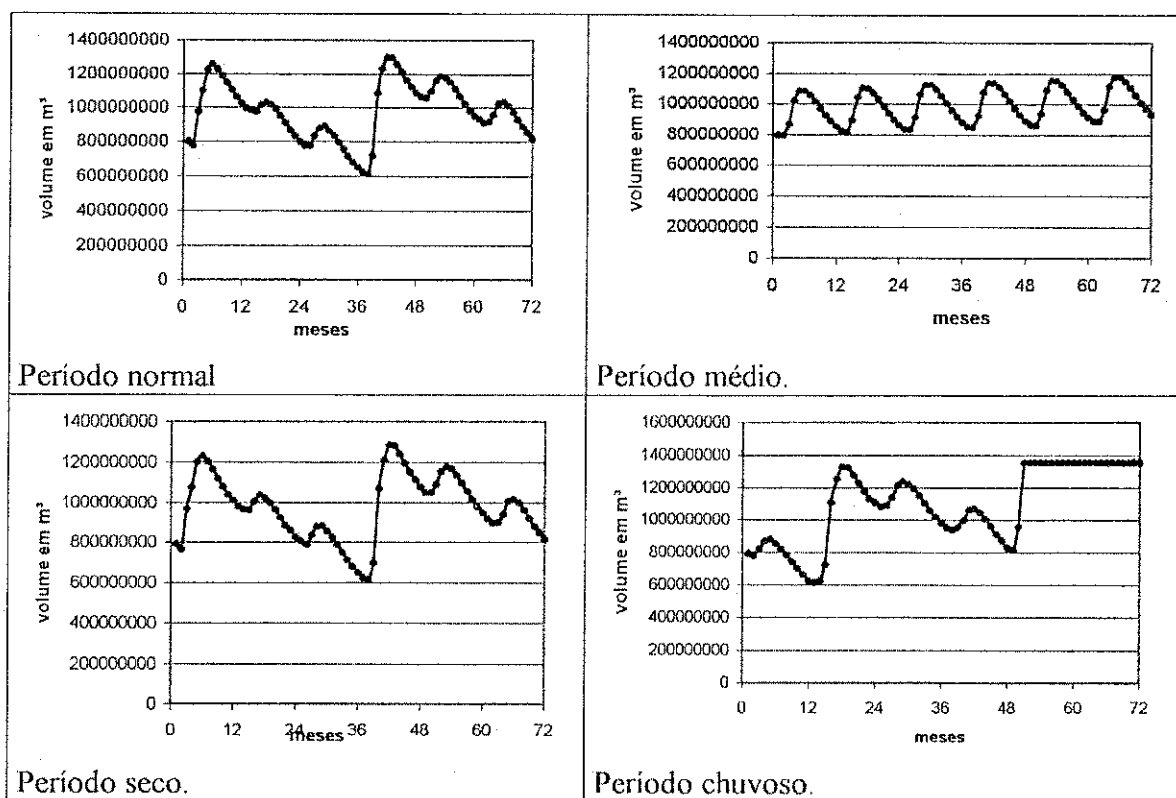


Figura 5.17 – Volumes mensais do reservatório em  $m^3$  para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.

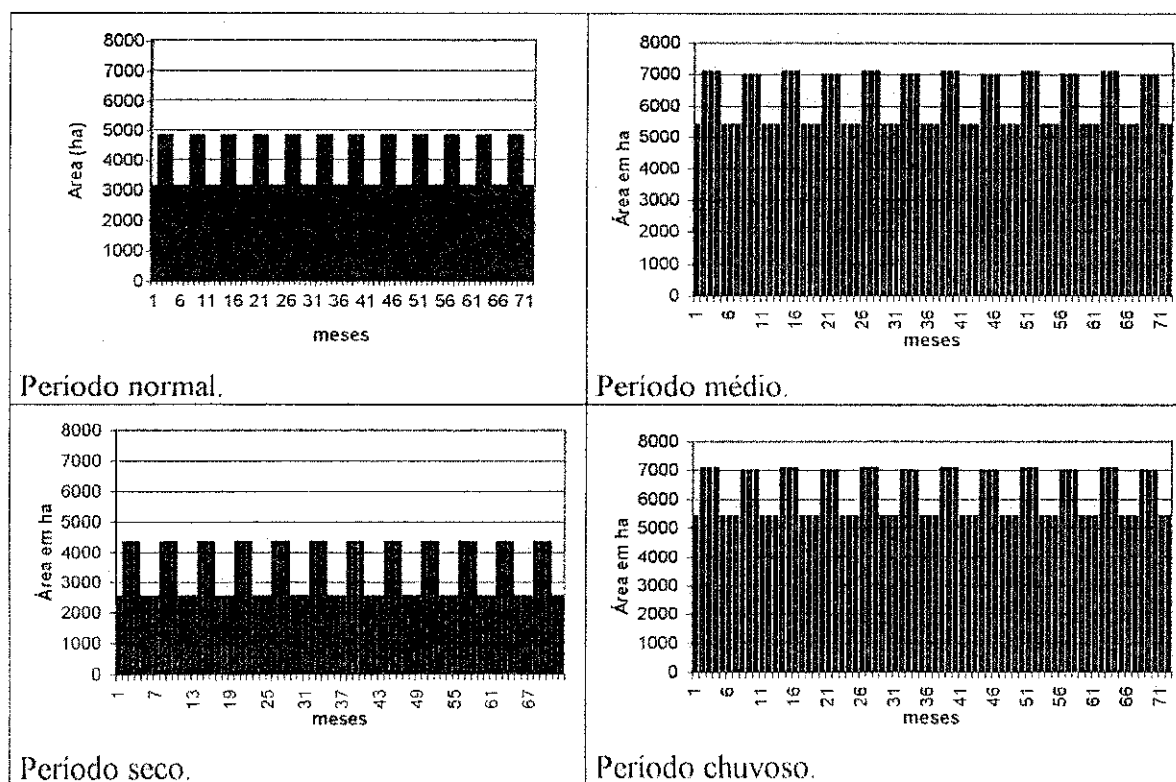


Figura 5.18 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em há, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.

Tabela 5.36 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.

		Período Normal							Período Médio						
CULTURAS	U.Prod.	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2				
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,51	200	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	100	200	900	14,27	200	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,65	200	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		200	200	187	0	200	787	10,42	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		250	225,31	0	0	700	1175,31	29,84	250	500	0	0	700	1450	36,6
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,93	200	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	0	0	0	749	1198	0	0	0	1947	31,16
Banana (ha)		200	200	200	200	200	1000	47,52	200	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Pprod..		1450	1425,31	1174	600	1900	6549,31	181,2	2199	2898	1085,32	600	1900	8682	217,9
		Período Seco							Período Chuvoso						
CULTURAS	U.Prod.	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida x 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2				
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	200	200	1000	16,1	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	200	200	1000	15,89	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra (ha)		200	200	0	200	200	800	10,81	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		200	200	0	200	200	800	10,59	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		0	0	0	0	0	0	0	250	500	0	0	700	1450	36,63
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,9	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	630,83	630,83	10,65	749	1198	0	0	0	1947	31,22
Banana (ha)		200	200	187	100	200	887	42,04	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Pprod.		1200	1200	1187	700	1830	6117,83	160,1	2199	2898	1085,3	600	1900	8682	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irig = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

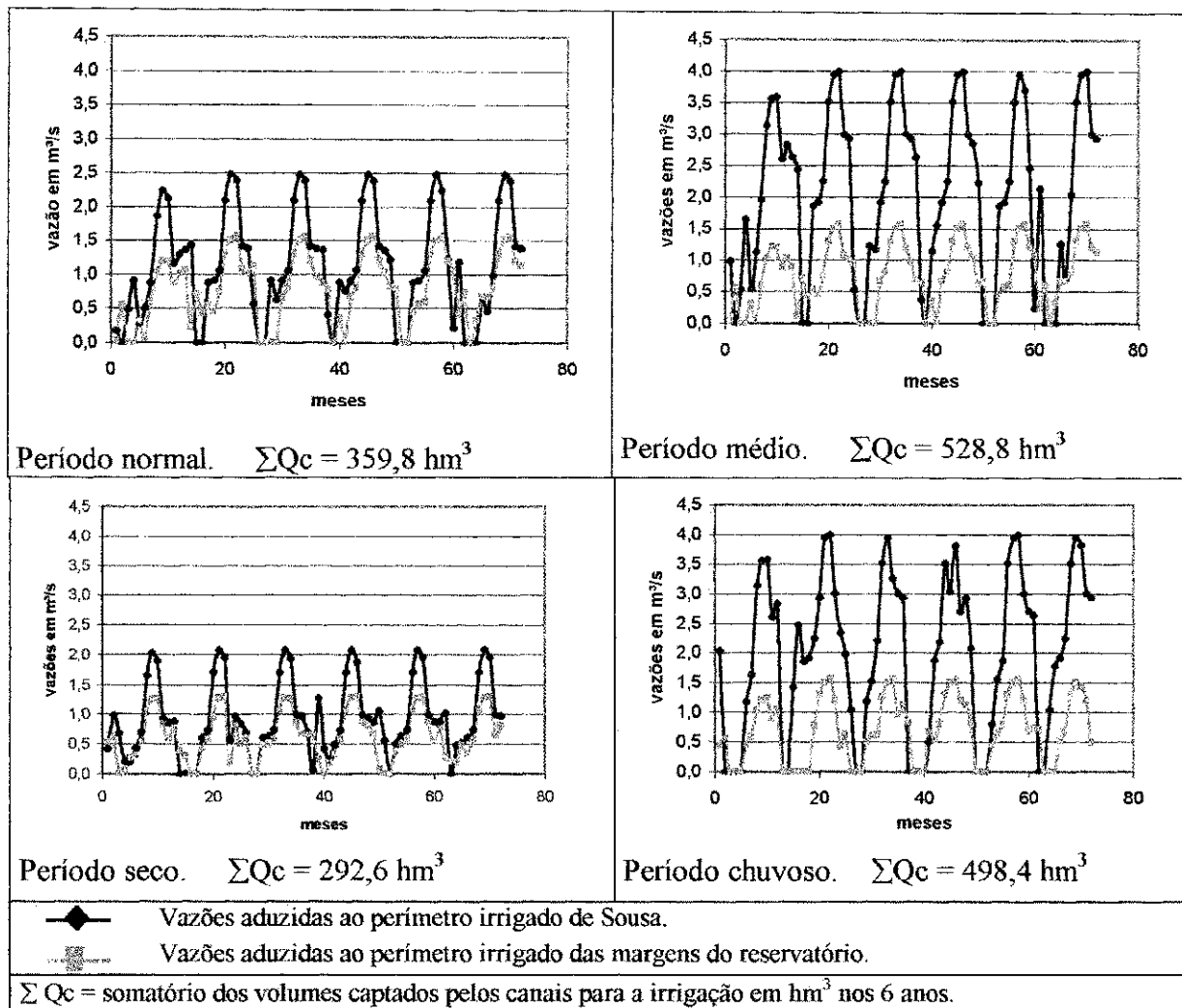


Figura 5.19 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório.

Como pode ser visto na Figura 5.17 o critério de sustentabilidade do reservatório foi obedecido pelo modelo. Para os períodos seco e normal os volumes de água aduzidos foram menores que os demais períodos chegando a captar no máximo  $2,09 \text{ m}^3/\text{s}$  para o perímetro das várzeas de Sousa no período seco, mostrando que neste caso, como no do período normal a limitação não foi a capacidade do canal, mas sim o aumento de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  na vazão regularizada, já que não houve ganho de volume de água no reservatório ao final do período de 6 anos.

### 5.12 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 80% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5,5 m<sup>3</sup>/s.

Para este cenário com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório, vazão de regularização de 5,5 m<sup>3</sup>/s, períodos hidroclimáticos seco e normal a área planejada 7084 ha não pode ser totalmente irrigada e com isso a receita líquida potencial foi reduzida. Para o período seco foram alocados com 1369,9 ha de culturas perenes e 1889,1 ha de culturas sazonais de safra e entressafra. Para o período normal foram alocados 2196,8 ha de culturas perenes e 1800 ha de culturas sazonais de safra e entressafra, conforme a Tabela 5.37. Para os cenários hidroclimáticos médio e chuvoso a área pode ser totalmente alocada para a irrigação e não houve redução nas receitas líquidas para as culturas.

Tabela 5.37 – Resultados do cenário com volume inicial de 80% e vazão de regularização de 5,5m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =5,5m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	80% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	1369,9 ha	2196,8 ha	5397 ha	5397 ha
Culturas sazonais	1899,1 ha	1800 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	3269 ha	3996,8 ha	7084 ha	7084 ha
Rec. Líquida = 1 x 10 <sup>6</sup>	R\$ 119,8	R\$ 154,7	R\$ 218,1	R\$ 217,9

Obs: CM = Capacidade máxima;  
Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

As Figuras 5.20, 5.21, 5.22 mostram, respectivamente, os gráficos dos volumes dos reservatórios, das áreas alocadas para os perímetros e dos volumes captados para cada perímetro irrigado e para cada período hidroclimático.

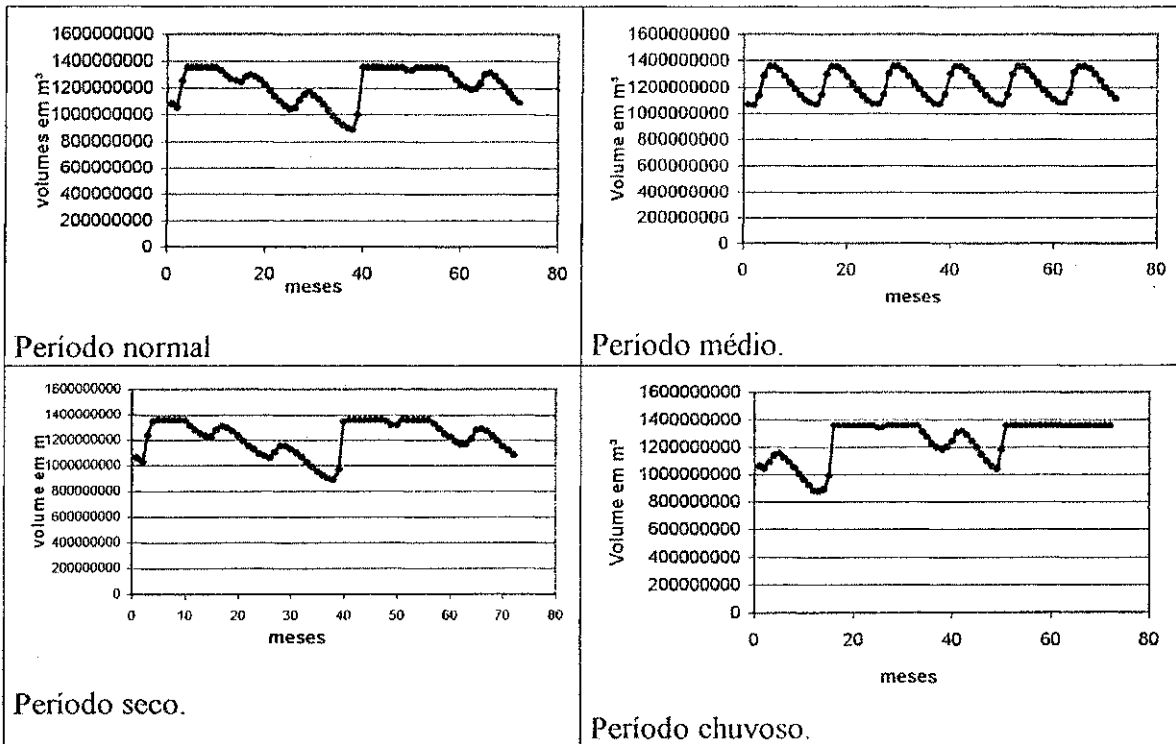


Figura 5.20 – Volumes mensais do reservatório em  $m^3$  para os períodos seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.

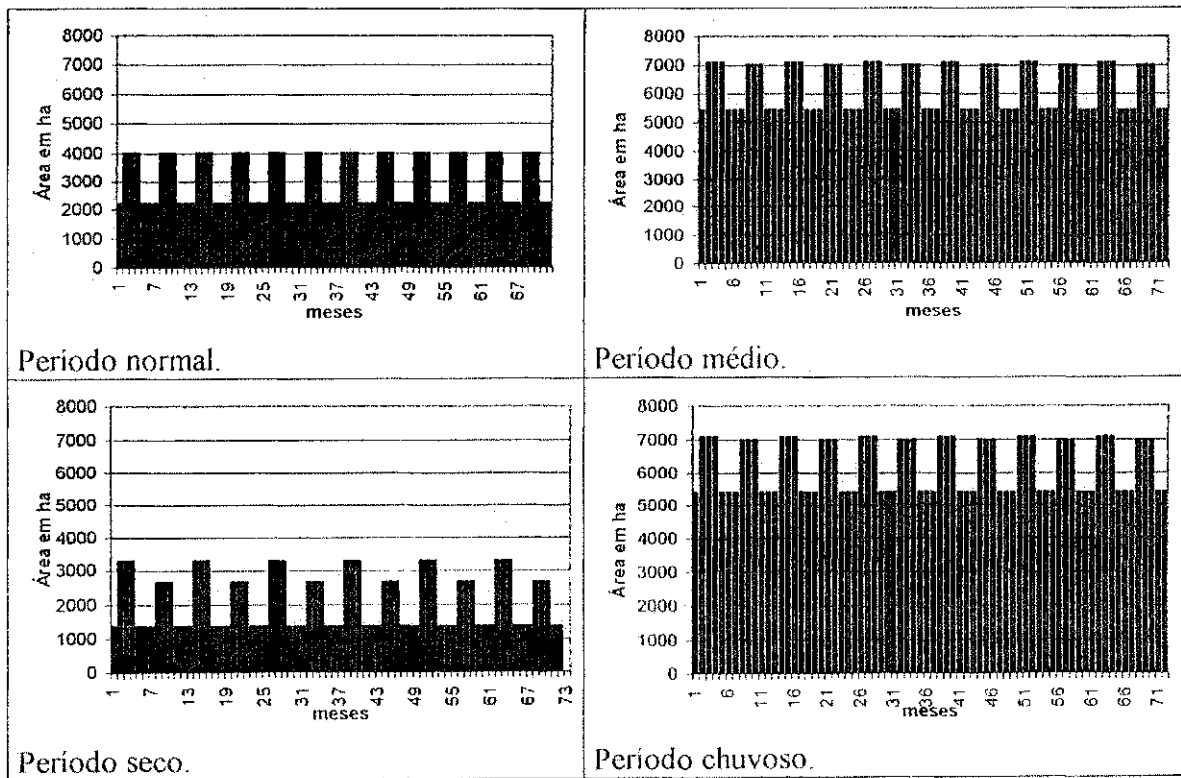


Figura 5.21 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha, para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.

Tabela 5.38 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.

		Período Normal								Período Médio					
CULTURAS	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	200	200	1000	16,12	200	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	200	200	1000	15,89	200	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	200	0	200	800	10,83	200	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		200	200	200	0	200	800	10,59	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		0	0	0	0	0	0	0	250	500	0	0	700	1450	36,56
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,93	200	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	309,81	309,81	52,32	749	1198	0	0	0	1947	31,16
Banana (ha)		200	200	187	100	200	887	42,08	200	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Pprod.		1200	1200	1187	700	1509	5796,8	154,7	2199	2898	1085,32	600	1900	8682,0	217,9
		Período Seco								Período Chuvoso					
CULTURAS	U.Prod. P.Irri	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
		1	1	1	2	2			1	1	1	2	2		
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	200	200	1000	16,1	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	200	200	1000	15,89	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra		200	200	200	100	200	900	12,16	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		0	0	0	100	200	300	4,07	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		0	0	0	0	0	0	0	250	500	0	0	700	1450	36,59
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,9	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	0	0	0	218,77	218,77	0	0	0	1947	31,22
Banana (ha)		56,64	56,64	56,64	0	200	369,92	17,64	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Pprod.		856,64	856,6	856,6	800	1200	4569,9	119,8	1668,77	1918,77	1174	600	1900	8682	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos).

P.Irig = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios).

Rec. Líquida = receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$.

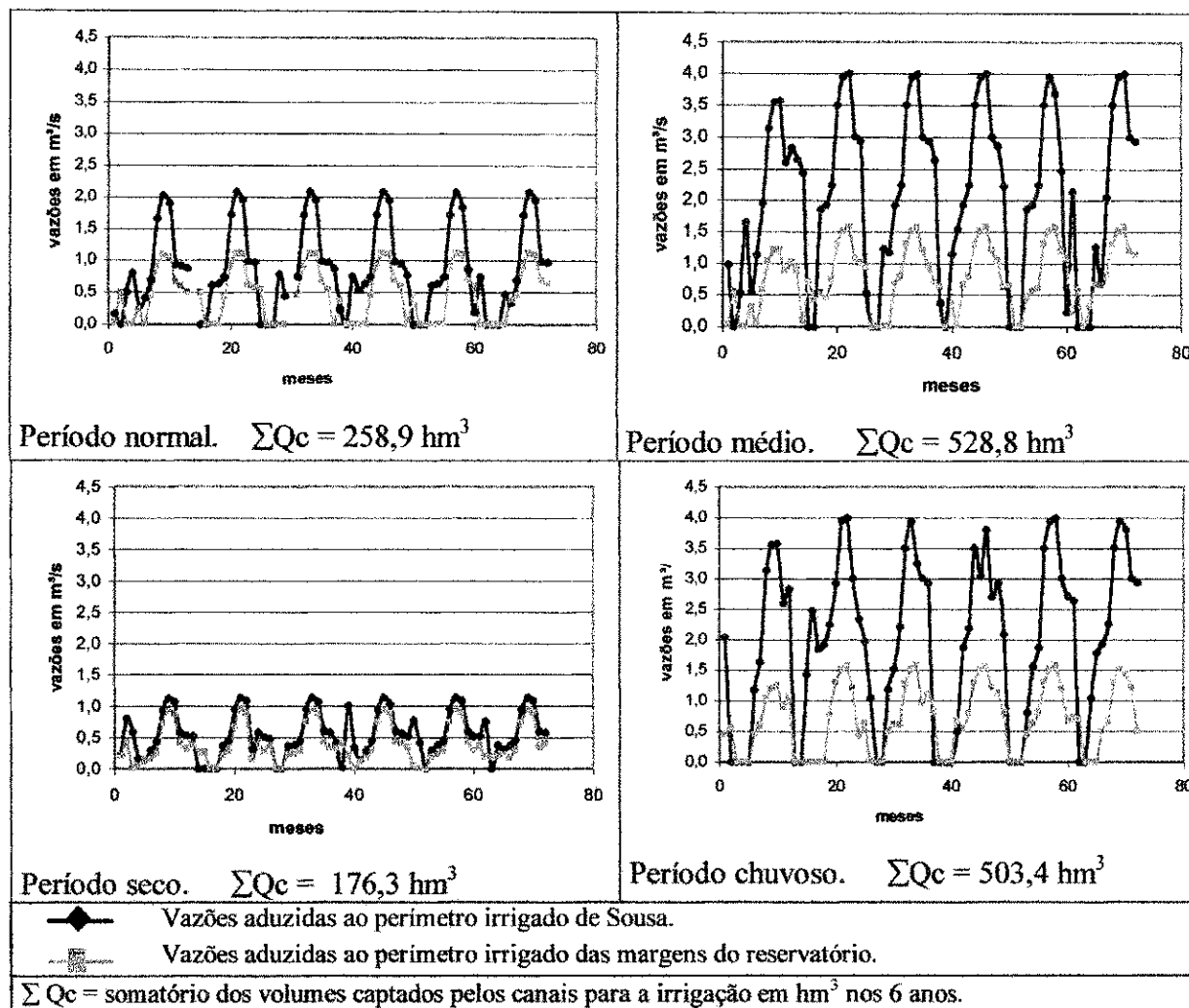


Figura 5.22 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para os períodos seco, normal e chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima do reservatório.

O critério de sustentabilidade do reservatório foi obedecido pelo modelo como pode ser visto na Figura 5.20. As áreas desejadas não foram totalmente alocadas para os perímetros nos períodos seco e normal, foram reduzidas as áreas para as culturas e a receita líquida potencial como pode ser visto nas Tabelas 5.37 e 5.38 para os períodos seco e normal. Os volumes de água captados foram menores que os volumes captados para os períodos médio e chuvoso, chegando a captar no máximo  $1,14 \text{ m}^3/\text{s}$  para o perímetro das várzeas de Sousa no caso do período seco.

Também aqui, continuam válidas as conclusões referentes ao cenário anterior, de que o fator limitante foi o aumento na demanda por regularização das vazões para jusante do rio Piancó.



### 5.13 – CENÁRIO COM VOLUME INICIAL DE 100% DA CAPACIDADE MÁXIMA DO RESERVATÓRIO E VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO DE 5,5 m<sup>3</sup>/s.

Para este cenário a área planejada de 7084 ha só foi alocada para o período chuvoso. Para os períodos hidroclimáticos normal médio e seco só foi possível alocar 45,1%, 87,3% e 37,8% da área planejada, respectivamente.

Tabela 5.39 – Resultados do cenário com volume inicial de 100% e vazão de regularização de 5,5m<sup>3</sup>/s.

Cenários Q <sub>reg</sub> =5,5m <sup>3</sup> /s	Condições de Volume inicial do reservatório			
	100% (CM)			
	Seco	Normal	Chuvoso	Médio
	Área	Área	Área	Área
Culturas perenes	678,2 ha	1351 ha	5397 ha	4497,7 ha
Culturas sazonais	2000 ha	1900 ha	1687 ha	1687 ha
TOTAL	2678,2 ha	3251 ha	7084 ha	6184,7 ha
Rec. Líquida = 1 x 10 <sup>6</sup>	R\$ 66,22	R\$ 119,3	R\$ 218,1	R\$ 204,7

Obs: CM = Capacidade máxima;  
Q<sub>reg</sub> = Vazão de regularização;  
Rec. Líquida = Receita líquida potencial.

As Figuras 5.23, 5.24, 5.25 mostram os gráficos dos volumes dos reservatórios das áreas alocadas para os perímetros e os gráficos dos volumes captados para cada perímetro irrigado e para cada período hidroclimático.

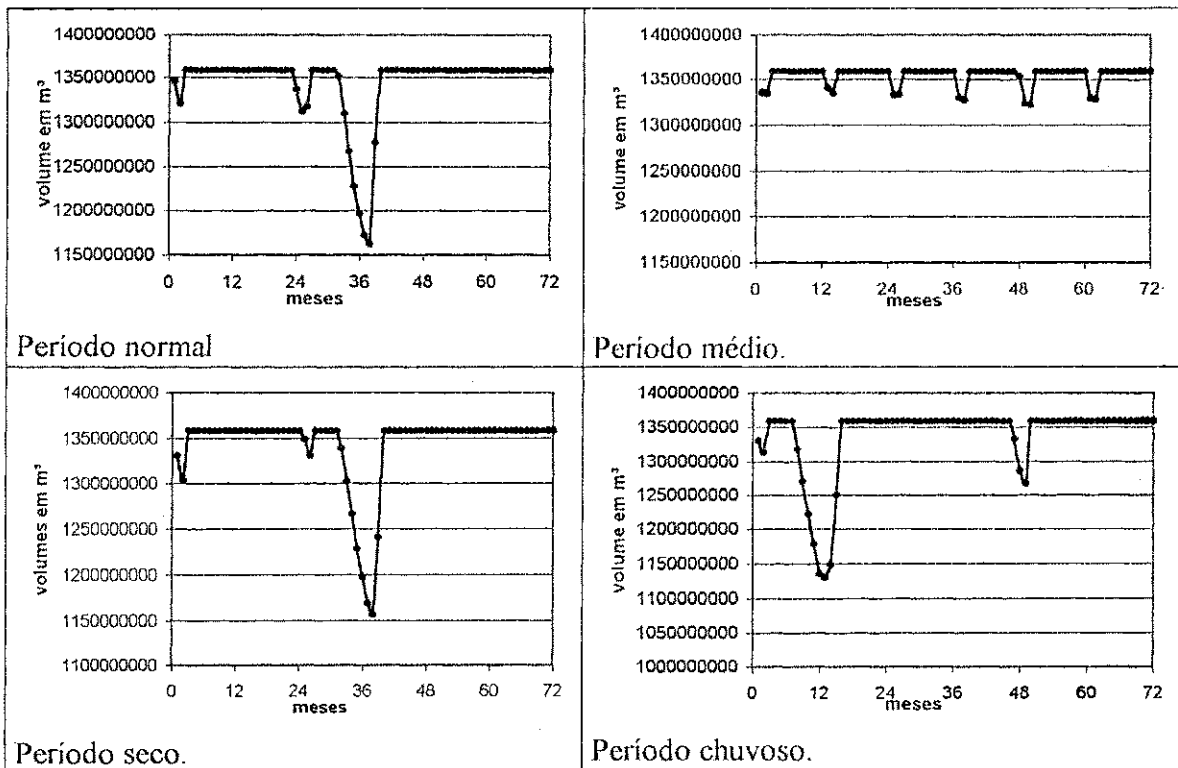


Figura 5.23 – Volumes mensais do reservatório em  $m^3$  para os cenários seco, normal, médio e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade do reservatório.

Analisando os resultados mostrados pelas Figuras 5.14, 5.17, 5.20, 5.23, nas quais são plotados os volumes mensais dos reservatórios para os períodos seco, normal, médio e chuvoso e volumes iniciais de 40%, 60%, 80% e 100% da capacidade do reservatório. Observa-se que para volumes iniciais de 40% e 60% da capacidade dos reservatórios o padrão de trabalho dos mesmos foram semelhantes, começando a haver modificações para o volume inicial de 80%. Com o volume inicial de 100% da capacidade máxima, o reservatório funciona praticamente cheio o tempo todo, trabalhando pouco em dois episódios temporais e muito em um episódio nos períodos normal e seco. No cenário chuvoso trabalhou pouco.

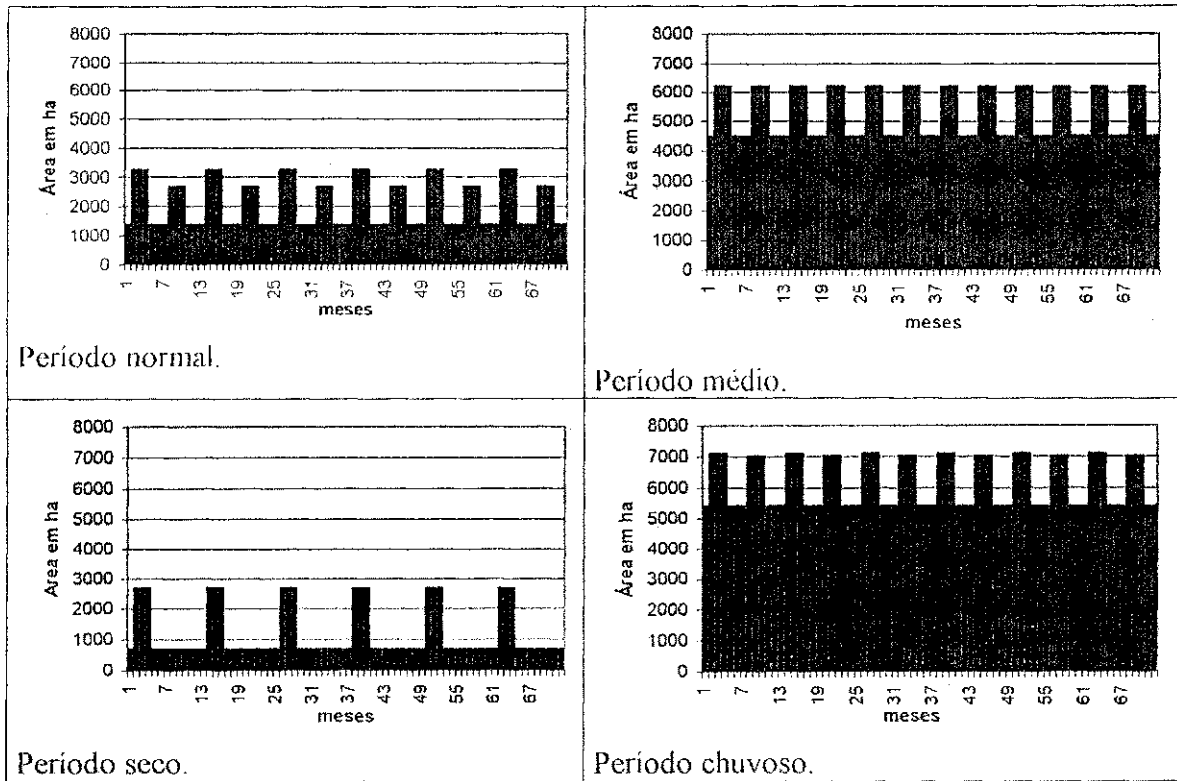


Figura 5.24 – Área total alocada para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em ha para os períodos seco, normal, médio e chuvoso, com volume inicial de 100% da capacidade do reservatório.

Tabela 5.40 – Áreas irrigadas por perímetro e por unidades de produção para os períodos seco, médio, normal e chuvoso.

		Período Normal							Período Médio						
CULTURAS	U.Prod.	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2				
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	200	200	1000	16,12	200	200	200	100	200	900	14,51
Melancia entressafra (ha)		200	200	200	200	200	1000	15,89	200	200	200	100	200	900	14,27
Melão safra (ha)		200	200	200	100	200	900	12,19	200	200	187	0	200	787	10,65
Melão entressafra (ha)		0	0	0	100	200	300	4,07	200	200	187	0	200	787	10,42
Maracuja (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		0	0	0	0	0	0	0	250	500	0	0	700	1450	36,56
Uva (ha)		200	200	200	200	200	1000	53,93	200	200	200	200	200	1000	53,93
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	0	0	0	523,87	523,87	0	0	0	1047,73	16,77
Banana (ha)		50,43	50,43	50,43	0	200	351,28	16,77	200	200	200	200	200	1000	47,52
Total por U.Pprod.		850,4	850,4	850,43	800	1200	4551,3	119,3	1973,87	2223,8	1174	600	1900	7871,7	204,7
		Período Seco							Período Chuvoso						
CULTURAS	U.Prod.	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$	Áreas					TOTAL	Rec. Líquida X 10 <sup>6</sup> R\$
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	P.Irri	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2				
Manga (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Goiaba (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia safra (ha)		200	200	200	200	200	1000	16,1	200	200	200	100	200	900	14,52
Melancia entressafra (ha)		0	0	0	0	0	0	0	200	200	200	100	200	900	14,28
Melão safra		200	200	200	200	200	1000	13,52	200	200	187	0	200	787	10,66
Melão entressafra (ha)		0	0	0	0	0	0	0	200	200	98,32	0	200	698	9,26
Maracujá (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limão tahiti (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacate (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamão (ha)		0	0	0	0	0	0	0	250	500	0	0	700	1450	36,59
Uva (ha)		126,05	126,05	126,05	100	200	678,16	36,58	200	200	200	200	200	1000	53,95
Côco (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graviola (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abacaxi (ha)		0	0	0	0	0	0	0	749	1198	0	0	0	1947	31,22
Banana (ha)		0	0	0	0	0	0	0	200	200	200	200	200	1000	47,54
Total por U.Pprod.		526,05	526,05	526,05	500	600	2678,2	66,22	2199	2898	1085,3	600	1900	8682,3	218,1

U.Prod. = Unidades de produção (manchas de solos)

P.Irri = perímetros irrigados (1, várzeas de Sousa; 2, margens dos reservatórios)

Rec. Líquida = receita líquida potencial para cada cultura x 10<sup>6</sup> R\$

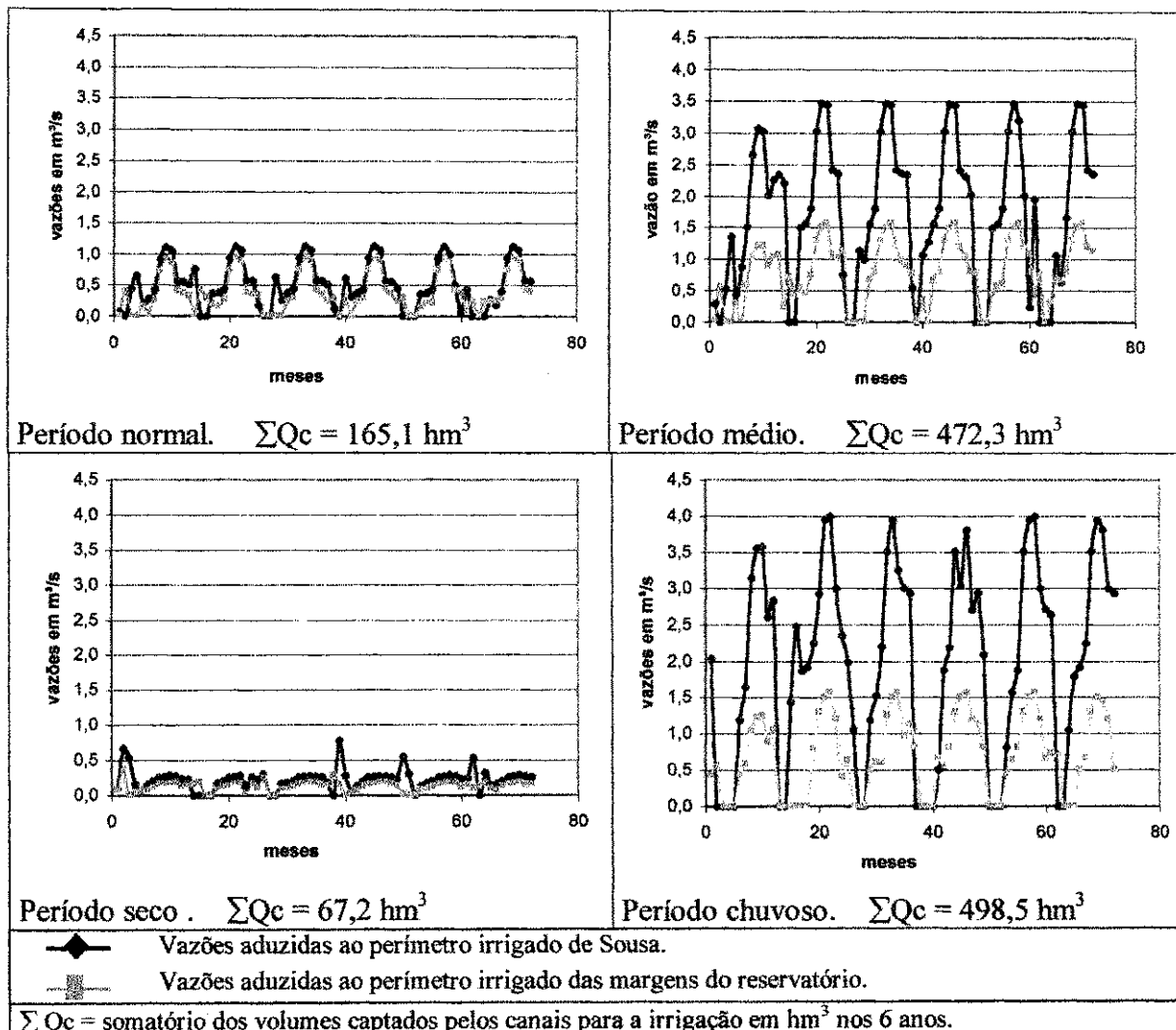


Figura 5.25 – Vazões para irrigação para os perímetros irrigados de Sousa e das margens do reservatório em  $\text{m}^3/\text{s}$  para os períodos seco médio e normal e chuvoso com volume inicial de 100% da capacidade máxima do reservatório.

Comparando os resultados mostrados pelas Figuras 5.14, 5.17, 5.20 e 5.23, observou-se nas liberações de vazões para irrigação os efeitos da restrição de volume inicial do reservatório e sua conseqüente sustentabilidade hídrica, quando se trabalha com vazões de regularização de  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . A medida que aumenta-se o volume inicial do reservatório há uma redução nas vazões liberadas para a irrigação. Para o período normal a vazão máxima para o canal das várzeas de Sousa foi de  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ , para os volumes iniciais de 40%, 60%, 80%, e 100% da capacidade máxima, respectivamente.

## 5.14 – SIMULAÇÃO

Foram realizadas três simulações para verificar o comportamento do reservatório no caso da implantação dos perímetros irrigados, utilizando as áreas obtidas com a otimização. As simulações foram realizadas para a série histórica de 30 anos. Para isso foi utilizado como base o período normal do cenário com volume de 60% da capacidade máxima do reservatório com vazão de regularização de  $4\text{m}^3/\text{s}$ . A simulação foi realizada ano a ano para verificar se haveria falhas no sistema, isto é, se em algum ano não seria atendida a necessidade de irrigação.

A simulação 1, foi feita usando o critério de sustentabilidade hídrica na base anual, ou seja, para cada ano o volume final do reservatório tinha de ser maior ou igual ao volume inicial do mesmo e o volume inicial do próximo ano seria igual ao volume final do ano anterior a Figura 5.26 e a Tabela 5.41 mostram os resultados para esta simulação. Como era de se esperar um cenário com restrições tão fortes, iria não só ter muitas falhas, como também violar restrições em alguns anos. E este foi o caso, com falhas em 18 anos. O reservatório só garantiu o pleno atendimento da área irrigada em 12 anos.

Na simulação 2, realizada com o critério de sustentabilidade do volume do reservatório de até 60% da capacidade máxima, mostrou que o reservatório funciona bem como armazenador e distribuidor de água para o sistema. Foram observados 7 anos de falha e 23 anos em que o reservatório conseguiu garantir as necessidades hídricas dos perímetros irrigados de acordo com a Tabela 5.41.

A simulação 3, realizada com a operação do reservatório sendo flexível até 40% da capacidade máxima do reservatório, houve falha no atendimento das necessidades hídricas dos perímetros irrigados em 4 anos e 26 anos em que o reservatório garantiu a irrigação das áreas alocadas. A variação dos volumes dos reservatórios para as simulações podem ser vistas na Tabela 5.41 e na Figura 5.26.

A Tabela 5.41 mostra os volumes do reservatório ano a ano das simulações realizadas, onde o volume final de cada ano é o volume inicial do ano seguinte.

Tabela 5.41 – Volumes do reservatório para todos os anos das simulações.

Nº de Anos	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
	Vi 815,2*	Vi 815,22*	Vi 815,2
1	798,3	798,67	694,1
2	866,9	867,29	769,24
3	892,7*	893,05*	801,11*
4	849,7*	782,92*	537,1*
5	822,1	783,93	518,68
6	912,3*	876,56	628,34
7	907,2*	840,74*	606,96*
8	878,5	790,8	526,98
9	908,6	824,79	573,35
10	1313,6	1313,64	990,2
11	1358,7*	1358,7	1204,98
12	1316,7*	1049,13	906,62
13	1284,13	820,82	683,9
14	1358,7*	1040,31	911,16
15	1332,3*	866,55*	746,1
16	1302,3	797	572,75
17	1358,7*	1283,02	1067,66
18	1342,6*	1169,05	966,73
19	1330	1085,26	893,43
20	1358,7*	1358,7	1358,7
21	1319,19*	1071,51	1071,6
22	1292,9	897,86	897,95
23	1358,7*	1107,54	1107,62
24	1348,4	1046,31	1046,39
25	1358,7*	1128,61	1128,69
26	1332*	948,08	948,16
27	1326*	929,15*	929,23
28	1289,5*	798,35*	690,99
29	1253,4*	782,05	534,38
30	1358,7	1177,8	943,7
Percentual de falhas	60%	23,3%	13,3%

Vi = Volume inicial

\* = Anos com falha

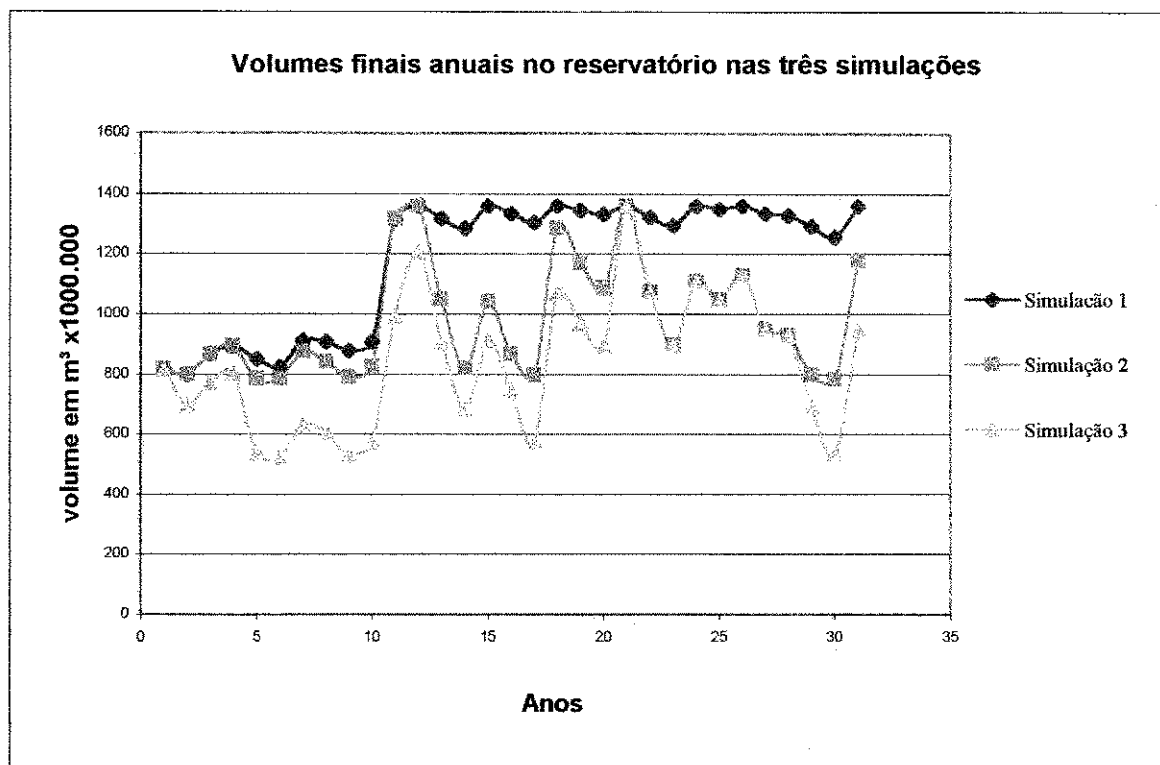


Figura 5.26 – Volumes finais dos reservatórios para as simulações

Da figura acima pode-se perceber a mudança no padrão de trabalho do reservatório da situação criada na simulação 3 em relação a simulação 2, nos dez primeiros anos.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 6.1 - CONCLUSÕES

Para o caso de vazão regularizada de  $4\text{m}^3/\text{s}$ , os perímetros podem gerar receitas líquidas potenciais em períodos normais, médios e secos em torno de R\$ 217 900 000,00 e em períodos chuvosos em torno de R\$ 218 100 000,00. Verifica-se que aumentando a vazão de regularização de  $4\text{m}^3/\text{s}$  para  $5,5\text{m}^3/\text{s}$  haverá perdas consideráveis na capacidade do sistema de atender a toda a área potencialmente irrigável, principalmente nos períodos de 6 anos em que a precipitação fica igual ou inferior a 810 mm. Esta conjuntura hidrológica ocorreu em 51% dos casos quando analisado a série histórica de 53 anos. Para os períodos seco e normal estas perdas foram da ordem de até 61,54% e 30,89%, respectivamente.

Os períodos hidroclimáticos normal e médio, apesar de terem médias pluviométricas bastante semelhantes, apresentam resultados diferentes para todos os cenários de volume inicial do reservatório com vazão de regularização de  $5,5\text{m}^3/\text{s}$ . Portanto, a variabilidade inerente ao cenário normal, que é mais realístico, faz com que deva-se ser mais cauteloso na alocação de áreas irrigadas, principalmente com as culturas perenes.

Com relação ao reservatório, a vazão destinada a garantir a demanda urbana e a vazão de regularização, em todos os casos foram obedecidos. Pode-se concluir que o aumento na vazão de regularização exerce grande influência na alocação das áreas irrigadas e nas receitas líquidas obtidas. Este critério limita a quantidade de água a ser

disponibilizada para a irrigação, que é também dependente do volume inicial do reservatório e do período hidroclimático em que está sendo realizado a otimização, pois o critério de sustentabilidade do reservatório foi obedecido em todos os cenários.

Através de estudos de otimização do planejamento agrícola dos perímetros irrigados das margens dos reservatórios e das várzeas de Sousa para diversos cenários hidroclimáticos, conclui-se que o CISDERGO 2.0 é uma ferramenta bastante eficaz no fornecimento de subsídios para um gerenciamento da operação integrada de reservatórios e de perímetros irrigados, mostrando eficiência na determinação das receitas líquidas geradas com a otimização das áreas irrigadas e no manejo adequado dos reservatórios.

Devido a esta diferença de resultados, e como é, em geral, mais usado fazer-se o planejamento com base em valores médios, efetuou-se a simulação para um período de trinta anos com os dados do cenário médio, para verificação do número de falhas. Os resultados mostraram que, para uma vazão de regularização de  $4\text{m}^3/\text{s}$  e permitindo o volume de água do reservatório atingir até 40% da sua capacidade, o índice de falha do sistema é de 13,3%.

## 6.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização desse modelo pode-se dizer que a sustentabilidade deste sistema de reservatórios pode ser comprometida por uma demanda crescente de água, que é o que esta ocorrendo na atualidade. Um exemplo destas demandas crescentes é a implantação de novos perímetros irrigados a montante do reservatório no rio Piancó e a construção da adutora Coremas – Patos, que também servirá para abastecer outras cidades.

É de se supor que reduções na vazão afluente aos reservatórios devido a aproveitamentos hídricos a montante possam causar reduções significativa no potencial de atendimento da demanda atual do sistema, até mesmo para uma vazão de regularização de  $4\text{m}^3/\text{s}$ .

Baseado neste trabalho vale ressaltar algumas recomendações para trabalhos futuros, para que venham contribuir com a atualização dos dados hidroclimáticos do sistema como:

Utilização das séries atualizadas de precipitações e afluências aos reservatórios.

Estudo e inclusão de demandas futuras, tanto demandas para abastecimento quanto

para irrigação.

Estudo da potencialidade de utilização do aquífero e de possíveis vazões disponíveis nos rios do Peixe e Piranhas para reforço hídrico nos períodos mais críticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUAONLINE, Revista eletrônica nº 74 agosto /2001 in *Nova tecnologia impulsiona dessalinização "AquaSonics International"* ;<http://www.aguaonline.com.br/saneamento/>
- AGROSOLOS ENGENHARIA LTAD. (1997). Revista das Águas do Conjunto Coremas/Mãe d'Água para as Várzeas de Sousa – Projeto Básico Volume I – DNOCS, Fortaleza.
- ALMEIDA, M, B, O. Estimativa dos Benefícios Econômicos do Uso da Água do Sistema Coremas/Mãe D'água Para Irrigação nas Várzeas de Sousa (Pb), Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB (2000).
- 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.
- ATLAS Geográfico do Estado da Paraíba. Secretária da Educação, Governo do Estado da Paraíba. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa 1985.
- 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. (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. (1987). Fundamentos para a Gestão dos Recursos Hídricos. In: Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo: Nobel: ABRH. P1-91. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1).
- BENEDITO, P. F. BRAGA Jr. et al. (1987), Técnicas de Otimização e Simulação Aplicadas em Sistemas de Recursos Hídricos, In: *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 (RBRH)*, v. 3, nº 3.
- BRAGA JR. Benedito P. F.,(1987). Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Vol. 1. Nobel/ABRH. (1987).
- CÂMARA, E, P. Otimização da Água do Reservatório Coremas / Mãe D'água Para Múltiplos Usos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB (2000).
- CARVALHO, Daniel Fonseca de, Otimização do Uso da Água no Perímetro Irrigado de Gorgotuba. D.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 1998. Tese de doutorado.
- CEAGEPE, 2001. Companhia de Abastecimento e de Armazéns Gerais do Estado de Pernambuco. Dados com os preços de venda das culturas praticados no dia 07/11/2001.
- 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.
- CUNHA, Glauber Lima L. Operação Integrada do Reservatório Engenheiro Arco Verde, Poços Amazonas e Perímetro Irrigado de Condado – PB Utilizando-se de Programação Linear. Campina Grande: (1999). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba.
- CURI, R. C., CURI, W. F. CISDERGO 2.0 (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju/SE, 25 a 29/11 de 2001.
- CURI, R. C., CURI, W. F. Publicação Técnica do Departamento de Física, CCT-UFPB, Campina Grande 1999.
- DANTAS NETO, José. (1994) Modelos de Decisão para Otimização do Padrão de Cultivo, em Áreas Irrigadas, Baseados nas Funções de Resposta das Culturas à Água. Botucatu.: Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas.

- DOORENBOS, J. , A. H. Kassam. Tradução de H. R. Gheyi, A. A, de Sousa, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros. Efeito da Água no Rendimento das Culturas. UFPB, Campina Grande: 1994. 306p (Estudo FAO Irrigação e Drenagem, v33).
- EMEPA., Relatório das Várzeas de Sousa. Secretária Extraordinária do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e Minerais. – PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO, João Pessoa, Fevereiro 1998.
- EMEPA. Síntese do Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa. Secretária Extraordinária do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e Minerais – PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO, João Pessoa, Janeiro 1998.
- EVANGELISTA. J. E. Jornal da Paraíba, edição especial *CANAL DA REDENÇÃO*. quinta-feira, 02 de julho de 1998, João Pessoa – PB.
- 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.
- LMRS. Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto. Banco de Dados. Campina Grande 1998.
- LOUKS, D. P., STEDINGER, J. R. & HAITH, D. A (1981), *Water resources systems planning and analysis*, New Jersey, Prentice Hall, 559p.
- LUNA D. B. (2001), Otimização da operação de múltiplos reservatórios em paralelo para usos e objetivos múltiplos, Campina Grande: UFPB – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado. 140p.
- LUNA D. S., Celeste A. B. (1999), Operação Ótima do Reservatório Estevam Marinho (Coremas / Mãe D'Água), Campina Grande: UFPB – Relatório de Iniciação Científica CNPq/PIBIC, UFPB/CCT/DEC/AERH. 95p.
- MÉLLO Jr., Arisvaldo V. & Braga Jr., Benedito P. F. Análise Multiobjetivo Aplicada a um Sistema de Produção Agrícola. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, vol. 1, n. 1, p. 09-27 jan/jun 1996.

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.

MOLLE, François e Eric Cadier, (1992). Manual do pequeno açude. SUDENE – DPG – PRN – DPP – APR. Convênio: SUDENE/ORSTOM; SUDENE/TAPI. Recife 524p.

O GLOBO Publicação do jornal, 10/02/96, "O mundo, Ciência e Vida". Rio de Janeiro.

REVELLE, C., JOERES, E., KIRBY, W. (1969), *The Linear Decision Rule in Reservoir Managem. And Design I: Developm. Of the Stochastic Model*, Water Resources Research, v.5, nº 4, p. 767-777.

SIMONOVIC, S. P. Reservoir systems analysis: closing gap between theory and practice. Journal of Water Resources Planning and Management, New York, Vol. 118, nº 3, p.262-280, 1992.

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.

WURBS, Ralph, A. *Reservoir, System Simulation And Optimization Models*, Water Resources Planning And Management, Asce, v.119, nº 4, 1992, July/august, p 455-472.