

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**OPERAÇÃO INTEGRADA DO RESERVATÓRIO
ENGENHEIRO ARCOVERDE, POÇOS AMAZONAS E
PERÍMETRO IRRIGADO DE CONDADO-PB,
UTILIZANDO-SE DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

RAIMUNDO GLAUBER LIMA CUNHA

ORIENTADORES:

ROSIRES CATÃO CURI
WILSON FADLO CURI

Dissertação submetida ao Programa de mestrado em Engenharia, na área de Recursos Hídricos da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de Mestre.

Campina Grande, outubro de 1999



C972o Cunha, Raimundo Glauber Lima.
Operação integrada do reservatório Engenheiro Arcoverde, poços Amazonas e perímetro irrigado de Condado-PB, utilizando-se de programação linear / Raimundo Glauber Lima Cunha. - Campina Grande, 1999.
116 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1999.
"Orientação : Profa. Dra. Rosires Catão Curi, Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi".
Referências.

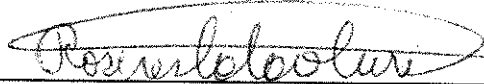
1. Irrigação - Culturas Agrícolas - Condado (PB). 2. Culturas Agrícolas - Irrigação - Condado (PB). 3. Recursos Hídricos - Condado (PB). 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Curi, Rosires Catão. II. Curi, Wilson Fadlo. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título CDU 631.587(043)

RAIMUNDO GLAUBER LIMA CUNHA

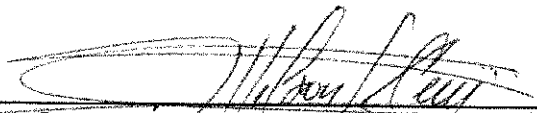
DISSERTAÇÃO APROVADA EM, 21 DE OUTUBRO DE 1999

**OPERAÇÃO INTEGRADA DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO
ARCOVERDE, POÇOS AMAZONAS E PERÍMETRO IRRIGADO DE
CONDADO-PB, UTILIZANDO-SE DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS



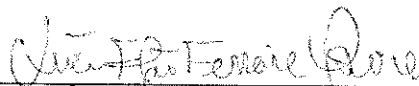
Prof. Dr. ROSIRES CATÃO CURI
ORIENTADORA



Prof. Dr. WILSON FADLO CURI
ORIENTADOR



Prof. Dr. HEBER PIMENTEL GOMES
EXAMINADOR



Prof. Dr. LÚCIO FLÁVIO FERREIRA MOREIRA
EXAMINADOR

CAMPINA GRANDE – PB

OUTUBRO DE 1997

DEDICATÓRIA

**A minha mãe, Alba, ser Humano
indispensável para que galgasse este altar
da minha vida.**

A meu Pai

Aos meus irmãos

A minha amada esposa Sandreane

SUMÁRIO

Dedicatória	ii
Sumário	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	viii
Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	xi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II.....	4
GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	4
2.1 - Introdução.....	4
2.2 – Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	4
2.2.1 Instrumentos Jurídicos para Gestão de Recursos Hídricos	6
2.2.1.1 - Leis Federais:.....	6
2.2.1.2 - Leis Estaduais:.....	8
2.3 – Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos.....	10
2.3.1 - Conflitos de Uso da Água	11
2.3.2 - Técnicas de Análise de Sistemas.....	12
2.3.2.1 – Técnicas de Simulação	13
2.3.2.2 – Técnicas de Otimização.....	14
2.3.2.2.1 - Programação Linear	15
2.3.2.2.2 - Programação Dinâmica	16
2.3.2.2.3 - Programação Não-Linear.....	16
2.4 - Abordagem Sistêmica.....	17
CAPÍTULO III.....	20
CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO.....	20
3.1 - Localização, Extensão e Hidrografia.....	20
3.2 - Clima	20
3.3 - Temperatura.....	21
3.4 - Umidade relativa do ar	21
3.5 - Velocidade do Vento	22
3.6 - Insolação	22
3.7 - Evaporação	22
3.8 - Regime Pluviométrico	22
3.9 - Vegetação	23
3.10 – Relevo	24
3.11 - Solos	24
3.12 - Reservatório Engenheiro Arcoverde.....	24
3.12.1 - Dados técnicos.....	24
3.12.2 - Perímetro de Irrigação de Condado.....	26

CAPÍTULO IV	34
OS DADOS HIDROCLIMATOLÓGICOS DO SISTEMA EM ESTUDO	34
4.1- Introdução.....	34
4.2- Dados Hidrológicos de Entrada do Modelo.....	34
4.2.1- Balanço Hídrico do Reservatório Engenheiro Arcoverde	35
4.2.1.1- Volume Observado do Reservatório no final de cada mês	35
4.2.1.2- Volume precipitado sobre o reservatório durante o mês(V_p).....	36
4.2.1.3- Volume evaporado do reservatório durante o mês (V_E)	37
4.2.1.4- Volume defluente devido as demandas das cidades de Condado, Malta e o Perímetro de Irrigação (V_{DEM}).....	38
4.2.1.5- Volume afluente ao reservatório durante o mês (V_A).....	38
4.2.1.5.1- Modelo-Tank Model	38
4.2.3 - Balanço Hídrico das Culturas.....	41
4.2.3.1 - Evapotranspiração da cultura (ET_P).....	42
4.2.3.2 - Coeficiente de Cultivo (K_c)	42
4.2.3.3 - Precipitação Efetiva	43
CAPÍTULO V	46
O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR RECURSIVA	46
5.1- Generalidades.....	46
5.2 - Desenvolvimento do Modelo	47
5.2.1 - Dados de Entrada do Modelo	49
5.2.2 - Configuração do modelo.....	51
CAPÍTULO VI	54
SITUAÇÕES DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
6.1 - Generalidades.....	54
6.2 - Análises para as situações de simulação.....	55
6.3 - Considerações para as situações de simulação	56
6.4 - Dados de entrada para as situações de simulação	56
6.5 - RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	67
6.5.1 - Volume inicial ideal de operação do reservatório	99
6.5.2 - Análise de sensibilidade do modelo.....	101
6.6- Aplicação do modelo para os anos de 1996 e1997	102
6.6.1- Considerações para a situação	102
6.6.2- Dados de entrada para o reservatório	103
6.6.3 - Dados de entrada para as culturas implantadas no modelo.....	104
6.6.4 - Resultados e discussão	108
CAPÍTULO VII	110
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	110
7.1 - Conclusões	110
7.2- Recomendações.....	111
BIBLIOGRAFIA	113

AGRADECIMENTOS

Ao meu senhor, pai e protetor, força suprema que rege o universo, por ter me dado forças para que eu superasse os inúmeros obstáculos desta caminhada.

A Capes (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro prestado, possibilitando a realização deste trabalho.

Aos profissionais e seres humanos maravilhosos, Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi, meus orientadores, pela forma com que conduziram este trabalho, sempre presentes nos momentos difíceis, demonstrando grande profissionalismo e, através da simplicidade, fraternidade, propiciaram um ótimo relacionamento humano.

Aos Drs. Heber Pimentel Gomes e Lúcio Flávio Ferreira Moreira, examinadores, pelas orientações dadas no sentido de enriquecer mais ainda este trabalho.

Aos professores e funcionários do curso de Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos.

Aos colegas de profissão pela prestatividade e amizade ao longo deste curso.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Um agradecimento todo especial a minha orientadora, Rosires Catão Curi, que com sua sapiência honrou-me com sua orientação. Foi amiga e prestativa, por me mostrar diversas vezes os caminhos simples e os tortuosos, dando-me a liberdade de escolha, e que, inúmeras vezes cedeu-me sua sala para poder concluir os meus trabalhos.

A minha mãe, Maria Alba Lima Cunha, a quem devo tudo o que sou, que sempre batalhou com todas as suas forças por seus filhos no intuito de uma melhor educação e que, sem sombra de dúvidas é altamente responsável por este momento maravilhoso.

A minha querida esposa, Sandreane Disney, pelo amor, compreensão e carinho.

RESUMO

Este trabalho visa a estudar as condições de operação ótima do sistema composto pelo Reservatório Engenheiro Arcoverde, poços aluviais e perímetro irrigado da cidade de Condado, PB, situados no semi-árido paraibano, com o objetivo de maximizar os benefícios financeiros líquidos auferidos pela irrigação de diversas culturas agrícolas. A finalidade deste estudo é fornecer subsídios que poderão ser utilizados para aumentar a eficiência do uso da água em regiões de alta escassez hídrica e auxiliar no processo de planejamento do uso integrado dos recursos hídricos de uma região.

Para se obter a solução ótima para o problema, foi usado um modelo de programação linear desenvolvido por Curi e Curi (1998), que tem a capacidade de lidar com as não-linearidades intrínsecas do problema através de um processo recursivo. As características hidroclimáticas do local e fenológicas das culturas, os aspectos físicos, legais e de sustentabilidade do sistema e os aspectos sócio-econômicos da região são, naturalmente, levados em consideração através de sua caracterização por restrições lineares de igualdades e desigualdades. As variáveis de decisão são as áreas alocadas para cada cultura a ser irrigada e os volumes mensais a serem apropriados do reservatório e poços amazonas para cada uma destas culturas. A função objetivo é descrita em termos da maximização dos benefícios líquidos auferidos com o cultivo das culturas irrigadas.

O sistema é estudado sob diversos cenários hidroclimáticos, cada um com séries de 5 anos de duração que são caracterizados como ciclos médio, normal, seco e chuvoso que foram extraídos de uma série de 1973 a 1991, 19 anos de dados pluviométricos. É, também, efetuada uma comparação entre a situação real experimentada pelo sistema nos anos de 1996 e 1997 e a situação ótima obtida pelo modelo para iguais circunstâncias hidroclimáticas. Os resultados obtidos para os valores das variáveis de decisão são relativos a cada cenário hidroclimático, assim como do volume inicial e requerimento de volume final do reservatório. Quando da comparação com a situação real, observou-se que é possível aumentar a receita líquida do perímetro irrigado para uma escolha mais adequada de áreas de culturas a serem irrigadas e o manejo da água oriunda do reservatório e poços amazonas. Também é possível se determinar, com o modelo, um nível ótimo de armazenamento mensal no reservatório, para algum tipo de cenário

proposto, que maximiza o retorno financeiro líquido obtido com o uso da água sem violar a restrição da sustentabilidade hídrica do mesmo.

ABSTRACT

In this work, the optimal operational releases from Engenheiro Arcoverde reservoir and the pumping of water from the downstream amazon type of wells and the selection of the areas of irrigated crops, located in the neighborhood of the Condado town, within a semi-arid region of the Paraíba state, are studied in order to maximize the net profit. The main scope of this work is to provide the engineer with a methodology and tool to design and plan more efficient uses of water within a (semiarid region) (region with scarcity of water).

A linear programming method developed by Curi and Curi, 1998, was used herein to achieve an optimal solution for the problem. The natural nonlinearities of the problem are also considered in a recursive way. The linear equality and inequality constraints are characterized by the physical and crops' phenological behavior and limitations, socio-economical and legal requirements and the guarantee of the sustainability of the system within a time period. The decision variables are the irrigated crop areas and the monthly water volume released from the reservoir and pumped from the downstream amazon type of wells used for each type of irrigated crop. The objective function is the net profit attained from each irrigated crop production, selling prices and managerial costs.

Several scenarios, which were characterized by a set of selected five-year hydro-climatic time series data gathered from a 20 years time period and defined as medium, normal, dry and wet seasons, were considered. It is also compared the proposed solution of the model with an experienced situation, for the same hydro-climatic conditions, during the years of 1996 and 1997. The attained results for the decision variables as well as the optimal operational policies for the reservoir releases are dependent upon the hydro-climatic scenarios and the reservoir initial and final required storage conditions. Besides running the program for several scenarios and providing the sensitivity analysis with respect to several parameters, it has also been shown, when comparing the attained results with a real world situation, that the net profit can be improved if appropriate managerial decisions are taken. It has also been shown that it is possible to determine, with the proposed model, optimal monthly reservoir storages, for some proposed scenario, that maximizes the net profit while it is guaranteed the sustainability of the system.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Umidade relativa do ar (%).....	21
Tabela 3.2 - Precipitação média mensal da bacia hidrográfica do açude Engenheiro Arcoverde (1973-1991).....	23
Tabela 4.1 - Volume mensal observado no Reservatório para o período de 1974 -1980 em m ³	36
Tabela 4.2 - Precipitação Mensal do Posto de Condado (mm) no período de 1974-1980.....	37
Tabela 4.3 - Evaporação corrigida (mm) observada em tanque Classe A na estação de Patos.....	38
Tabela 4.4 - Precipitação mensal no posto de Condado (mm).....	39
Tabela 4.5 - Precipitação mensal no posto de Malta (mm).....	40
Tabela 4.6 - Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Arcoverde (mm).....	40
Tabela 4.7 - Lâmina escoada gerada pelo modelo Tank Model (mm).....	41
Tabela 4.8 - Balanço hídrico da cultura melancia.....	43
Tabela 6.1 - Precipitações médias mensais (P _{méd}) em mm que caracterizam os períodos de ocorrência acima descritos.....	55
Tabela 6.2 - Valores dos dados de entrada para o reservatório.....	58
Tabela 6.3 - Plano cultural anual.....	60
Tabela 6.4 - Produção das culturas em Kg/ha para o período considerado.....	61
Tabela 6.5 - Custo para produção de cada cultura em R\$/ha para o período considerado.....	62
Tabela 6.6 - Coeficiente de cultivo das culturas.....	63
Tabela 6.7 - Sistema de irrigação para as culturas e suas eficiências.....	64
Tabela 6.8 - Dados de entrada para o reservatório no período ciclo normal.....	65
Tabela 6.9 - Dados de entrada para o reservatório no período ciclo seco.....	66
Tabela 6.10 - Dados de entrada para o reservatório no período ciclo chuvoso.....	66
Tabela 6.11- Área das culturas (ha) e retorno líquido maximizado (1 ^a situação- reservatório e poços alimentando o perímetro) utilizando dados de entrada com valores médios para o ciclo médio e dados de entrada com valores mensais para os outros ciclos.....	68
Tabela 6.12 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 1 ^a situação - ciclo médio.....	74
Tabela 6.13 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 1 ^a situação - ciclo médio.....	74
Tabela 6.14 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 1 ^a situação - ciclo normal.....	76
Tabela 6.15 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 1 ^a situação- ciclo normal.....	76
Tabela 6.16 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 1 ^a situação - ciclo seco.....	79
Tabela 6.17 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 1 ^a situação- ciclo seco.....	79
Tabela 6.18 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 1 ^a situação - ciclo chuvoso.....	81

Tabela 6.19 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) – 1ª situação-ciclo chuvoso.....	81
Tabela 6.20 - Área das culturas (ha) e retorno líquido maximizado (2ª situação-reservatório alimentando o perímetro) utilizando dados de entrada com valores médios para o ciclo médio e dados de entrada com valores mensais para os outros ciclos.....	86
Tabela 6.21 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 2ª situação - ciclo médio.....	92
Tabela 6.22 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 2ª situação - ciclo normal.....	92
Tabela 6.23 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 2ª situação - ciclo seco.....	93
Tabela 6.24 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m ³) - 2ª situação - ciclo chuvoso.....	93
Tabela 6.25 - Área das culturas (ha) e retorno líquido maximizado (3ª situação-poços amazonas alimentando o perímetro) utilizando dados de entrada com valores médios para o ciclo médio e dados de entrada com valores mensais para os outros ciclos.....	95
Tabela 6.26 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 3ª situação - ciclo médio.....	96
Tabela 6.27 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 3ª situação - ciclo normal.....	97
Tabela 6.28 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 3ª situação - ciclo seco.....	97
Tabela 6.29 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m ³) - 3ª situação - ciclo chuvoso.....	98
Tabela 6.30 - Análise de sensibilidade do modelo considerando primeira situação e ciclo médio.....	101
Tabela 6.31 - Valores de dados de entrada para o reservatório.....	103
Tabela 6.32 - Valores de dados de entrada para o reservatório em 1996-1997.....	104
Tabela 6.33 – Plano cultural anual.....	105
Tabela 6.34.- Produtividade das culturas em Kg/ha.....	105
Tabela 6.35 - Custo para produção de cada cultura em R\$/ha para o período considerado.....	106
Tabela 6.36 - Coeficiente de cultivo das culturas.....	107
Tabela 6.37 - Área irrigada das culturas (ha) e retorno líquido maximizado.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Bacias do Estado da Paraíba	27
Figura 3.2 - Bacia do Médio Piranhas com os Municípios	28
Figura 3.3 - Bacia Hidrográfica do açude Engenheiro Arcoverde	29
Figura 3.4 - Bacia do Médio Piranhas destacando o açude Engenheiro Arcoverde e o riacho de barramento	30
Figura 3.5 - Reservatório Engenheiro Arcoverde	31
Figura 3.6 - Canais de Irrigação	32
Figura 3.7 - Perímetro Irrigado e Poços Amazonas	33
Figuras 4.1 e 4.2 - Esquema para representação da estrutura do modelo Tank Model	39
Figura 4.3 - Volume observado e Volume calculado do reservatório Engenheiro Arcoverde x Tempo	44
Figura 4.4 - Curva Cota x Volume do reservatório Engenheiro Arcoverde	45
Figura 4.5 - Curva Cota x Área do reservatório Engenheiro Arcoverde	45
Figura 5.1 - Layout representativo do sistema em estudo	52
Figura 5.2 - Fluxograma representativo dos dados de entrada	53
Figura 6.1 - Volume mensal do reservatório para os ciclos médio e normal (1ª situação – reservatório e poços alimentando o perímetro)	70
Figura 6.2 - Vazão afluente para os ciclos médio e normal	71
Figura 6.3 - Volume mensal do reservatório para os ciclos seco e chuvoso	72
Figura 6.4 - Vazão afluente para os ciclos seco e chuvoso	73
Figura 6.5 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação (1ª situação - ciclo médio)	75
Figura 6.6 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação (1ª situação - ciclo normal)	78
Figura 6.7 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação (1ª situação - ciclo seco)	80
Figura 6.8 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação (1ª situação - ciclo chuvoso)	80
Figura 6.9 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (1ª situação – ciclos médio, normal, chuvoso e seco)	83
Figura 6.10 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (1ª situação – ciclos médio e normal)	84
Figura 6.11 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (1ª situação – ciclos seco e chuvoso)	85
Figura 6.12 - Volume mensal do reservatório para os ciclos médio e normal (2ª situação – reservatório alimentando o perímetro)	88
Figura 6.13 - Vazão afluente para os ciclos médio e normal	89
Figura 6.14 - Volume mensal do reservatório para os ciclos seco e chuvoso (2ª situação reservatório alimentando o perímetro)	90
Figura 6.15 - Vazão afluente para os ciclos seco e chuvoso	91
Figura 6.16 - Volume ideal operação do reservatório no ciclo normal – (1ª situação)	100
Figura 6.17 - Volume mensal do reservatório engenheiro Arcoverde para o período simulado (1996 – 1997)	109

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para a promoção do bem estar de uma sociedade. A água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas. A importância do gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, aumenta na proporção em que estes recursos se apresentam de forma escassa, como no semi-árido nordestino onde a baixa taxa de pluviometria, alta taxa de evaporação, e má distribuição espaço-temporal das chuvas fazem com que a água se torne elemento fundamental no quadro sócio-econômico da região, gerando a necessidade de racionalização do uso da mesma. Nestas regiões, o planejamento dos recursos hídricos ganha dimensão fundamental e através dele, se estabelecem as diretrizes a serem seguidas com o propósito de proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação dos recursos hídricos.

Na tentativa de reduzir as consequências da ausência das chuvas no nordeste, o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), ao longo de sua existência, construiu açudes públicos no Nordeste Brasileiro. Segundo Molle (1992), estima-se que a região nordeste tenha mais de 70.000 açudes de mais de 1.000 m² de espelho d'água. A grande açudagem pública apresenta um balanço de aproximadamente 1200 a 1500 açudes com capacidade superior a 100.000 m³, com cerca de 450 barragens de mais de 1.000.000 m³, o que coloca o nordeste brasileiro como a segunda região mais açudada do mundo, perdendo apenas para a Índia. Deve-se observar que é importante a construção de açudes, como também adotar uma política de operação dos mesmos, de forma que a água armazenada passe por um processo de gerenciamento ao longo do tempo, tendo assim, uma política de gestão que possibilite atender aos diversos usos da água.

Entre as diversas formas de uso da água encontra-se o uso para a irrigação de terras agrícolas, um dos objetos de estudo deste trabalho, a qual vem se intensificando ao longo dos anos. Devido ao aumento da escassez de água nas zonas semi-áridas, surge a urgente necessidade de racionalizar o uso desta, tornando-se indispensável para a irrigação o conhecimento das relações funcionais entre a água e o rendimento das culturas. Uma das mais eficientes maneiras de se racionalizar o uso da água de um

manancial é através do uso de pesquisa operacional, a qual permite que a tomada de decisão em relação a alocação do uso da água seja otimizada segundo os critérios mais desejáveis dos usuários .

Este trabalho vem atender a necessidade de otimizar a alocação do uso da água, através de pesquisa operacional, para um melhoramento do planejamento agrícola do perímetro de irrigação situado no município de Condado, alimentado por poços Amazonas e pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, localizado no semi-árido do estado da Paraíba, Nordeste Brasileiro, em uma área totalmente inserida no denominado "polígono das secas".

Como ferramenta para viabilizar a análise da operação do sistema em estudo, usou-se de um Modelo Matemático chamado Programação Matemática Linear Recursiva (Curi, 1998), para maximizar os benefícios econômicos e sociais oriundos de um planejamento integrado de operação do reservatório Engenheiro Arcoverde e poços Amazonas, assim como a seleção de tipos de culturas mais adequadas a situação vigente e suas respectivas áreas de plantação, e a definição das lâminas d'água a serem aplicadas a cada tipo de cultura. Neste modelo pode-se levar em consideração o período (safra ou entresafra) em que tais culturas devam ser comercializadas .

Para obtenção dos resultados, o modelo é executado no MATLAB (Matriz Laboratory) que é um ambiente computacional técnico de alto desempenho em cálculo e visualização numérica. Trata-se de um sistema iterativo no qual o dado elementar básico é uma matriz que não requer dimensionamento, possibilitando a resolução de problemas numéricos em um período de tempo menor do que eles levariam para serem escritos em uma linguagem computacional. O modelo de programação matemática é escrito com base no balanço hídrico do reservatório e das culturas irrigadas, leva em conta também um sistema de bombas que variam de 7,5 a 15 CV instaladas nos poços amazonas e que contribuem também como entrada hídrica do modelo.

O presente trabalho se desenvolve nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 (Introdução) - caracteriza o problema a ser analisado em estudo.

Capítulo 2 (Gerenciamento dos Recursos Hídricos) - faz-se uma síntese da literatura relacionada com o assunto do trabalho.

Capítulo 3 (Caracterização da Região) - situa a região em estudo e dá suas principais características.

Capítulo 4 (Os Dados do Sistema) - mostra quais os dados usados no trabalho e a forma necessária para obtê-los.

Capítulo 5 (O Modelo de Programação Linear Recursiva) - neste capítulo descrevemos o modelo usado para representar o sistema em estudo.

Capítulo 6 (Apresentação e Discussão dos resultados obtidos nas Simulações) - os cenários que serviram de base para as simulações efetuadas durante o trabalho são expostos e as discussões baseadas nos resultados do modelo são apresentadas.

Capítulo 7 (Conclusões e Recomendações) - as conclusões relativas ao estudo efetuado são expostas, assim como as sugestões para futuras pesquisas.

CAPÍTULO II

GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

2.1 - Introdução

Neste capítulo faz-se uma breve revisão literária dando um visão geral sobre gerenciamento e planejamento de recursos hídricos no que diz respeito a conceitos, aspectos jurídicos e análise de sistemas e engenharia de recursos hídricos, que direta ou indiretamente está envolvido com o tema em estudo.

2.2 – Gerenciamento de Recursos Hídricos

Podemos definir Gerenciamento dos Recursos Hídricos como um conjunto de medidas constitucionais (leis, medidas provisórias, normas e regulamentos) aprovadas pelo poder governante destinadas a administrar o armazenamento, uso, aproveitamento e preservação da água, tendo-se como referencial o princípio de que a água deve ser gerenciada de forma **descentralizada**, ou seja, onde as decisões devem ser tomadas a nível territorial e de planejamento das próprias bacias hidrográficas, **integrada**, ou seja, levando em consideração todas as fases do ciclo hidrológico e observando seus aspectos quantitativos e qualitativos, **participativa**, ou seja, onde todo o processo de gerenciamento, a nível da bacia hidrográfica, conta com a participação de representantes dos usuários, das instituições governamentais e não governamentais e da sociedade civil organizada, sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e atuação. Como resultado dessas ações ficará fixado o que é denominado de gestão dos recursos hídricos, entendido como o campo administrativo adotado na organização do Estado para gerir os recursos hídricos.

Para o gerenciamento dos recursos hídricos, de forma participativa, integrada e descentralizada, faz-se necessário a utilização de várias atividades tais como: *planejamento, operação, monitoramento, manutenção e apoio à organização dos usuários*. Faremos aqui um breve comentário destas atividades:

Planejamento: Segundo Barth (1987) planejamento, no conceito da ciência econômica, onde é bastante empregado, é a forma de conciliar recursos escassos e necessidades abundantes. Em recursos hídricos, o planejamento pode ser definido como um conjunto de procedimentos organizados que visam ao atendimento das demandas de água, considerada a disponibilidade restrita desses recursos. O planejamento dos recursos hídricos visa à avaliação prospectiva das demandas e das disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios econômicos e sociais. É necessário planejar a longo prazo em razão do tempo de maturação de obras hidráulicas, da vida útil dessas obras e pela repercussão das decisões tomadas, que alcançam várias gerações, sendo, muitas vezes irreversíveis.

Apesar da necessidade de se planejar a longo prazo, os planos de recursos hídricos devem conter programas e projetos de curto e médio prazos compatíveis com os horizontes dos planos de desenvolvimento e dos orçamentos públicos. Dentre os objetivos de um plano, podem ser selecionados, por exemplo, os seguintes: maximização dos benefícios nacionais e regionais, minimização dos impactos ambientais, melhoria da qualidade de vida. Maior ou menor prioridade a um desses objetivos influirá no seu resultado. Por exemplo, se a prioridade absoluta for dada à maximização do desenvolvimento econômico nacional, poderá haver maior ênfase para a construção de aproveitamentos hidrelétricos e para industrialização, em detrimento dos impactos ambientais e da qualidade dos recursos hídricos. A alocação de tais recursos entre usos múltiplos é problema bastante complexo, cuja solução deve ser procurada com técnicas de análise de sistemas. Mas, para que essas técnicas possam ser aplicadas em casos reais, é necessário que o planejador esteja acessorizado por leis regulamentadas que sirvam de base no processo da tomada de decisão.

Operação: objetiva principalmente no caso dos reservatórios, definir a liberação de água de forma a atender a demanda (os usos), levando em consideração a oferta disponível e as características do próprio reservatório.

Monitoramento: tem a função de realizar o acompanhamento dos aspectos qualitativos e quantitativos da água, no que diz respeito aos níveis dos reservatórios, vazões liberadas, consumo dos usuários, vazões nos rios perneados e os níveis de contaminação química e biológica, servindo de informação para auxiliar a tomada de decisão da operação.

Manutenção: é importante na realização de estudos da situação física das estruturas hidráulicas, como paredes dos açudes, comportas, canais, etc., verificando a necessidade de recuperação e definindo planos de conservação para as referidas estruturas.

Apoio a Organização dos Usuários: conscientizar, educar os usuários para que de forma organizada possam gerenciar, com o devido apoio técnico, o insumo água.

Estas diversas atividades, acima citadas, são componentes importantes de um sistema gerencial que seja capaz de fornecer informações para a tomada de decisão com o objetivo final de promover de forma coordenada o uso, controle e preservação da água.

A política de Gestão dos Recursos Hídricos onde quer que seja implantada, só trará resultados benéficos à comunidade local se orientada por leis que determinem através de seus artigos as prioridades e limitações com relação ao uso da água. No Brasil, os instrumentos jurídicos que formam uma base para o gerenciamento dos recursos hídricos são as leis Federais e Estaduais.

2.2.1 Instrumentos Jurídicos para Gestão de Recursos Hídricos

2.2.1.1 - Leis Federais:

- *A Lei de Direito da Água do Brasil (Código de Águas)*, de 10 de julho de 1934, a qual o Governo Federal concede ao ministério da Agricultura amplos poderes para sua execução. Esta lei é voltada para o controle e incentivo do aproveitamento industrial das águas e ampla utilização na geração de energia elétrica, deixando de lado outros tipos de usos como: irrigação, piscicultura, abastecimento urbano e rural, etc, não abordando a fundo a questão da gestão dos recursos hídricos.

- *A Lei Federal 6.938 de 31 de agosto de 1981*, que estabelece no seu Art.1º: com fundamentos nos Incisos VI e VII do Art. 23 e no Art. 225 da constituição federal, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA e institui o Cadastro de Defesa Ambiental.

- *A Constituição Nacional em vigência (1988)*, que enfatiza a necessidade de gerir os recursos hídricos.

Principais mudanças que a Constituição de 1988 trouxe em relação ao decreto número 24.643, de 10/07/34 - *Código de Águas*:

1 - extinguiu a água do domínio privado, a partir de outubro de 1988, todos os corpos d'água passaram a ser do domínio público;

2 - estabeleceu apenas dois domínios para os corpos d'água no Brasil: (a) o domínio da União, para os rios ou lagos que banhem mais de uma unidade federada, ou que sirvam de fronteira entre essas unidades, ou de fronteira entre o território do Brasil e o de um país vizinho ou dele provêm ou para ele se estendem; e (b) como bens dos estados, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso as decorrentes de obras da União;

• *A Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997 (lei de organização administrativa para o setor de recursos hídricos)*

Principais Mudanças que a Lei 9433, de 08/01/97 trouxe em relação ao decreto número 24.643, de 10/07/34 - *Código de Águas*.

1 - Mudança na centralização de poder, conferida pelo *Código de Águas* ao Ministério da Agricultura, único responsável pela sua execução, a Lei 9433, caracteriza-se por implantar uma gestão dos recursos hídricos descentralizada e participativa, onde interagem o Poder Público, as comunidades e usuários.

2 - Instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo como instrumentos ;

- os Planos de Recursos Hídricos
- enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos .
- a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos
- a cobrança pelo uso dos recursos hídricos
- a instituição do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos .

3 - Criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a ser presidido pelo ministro do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, passando a ser gestora institucional da água no Brasil a Secretaria de Recursos Hídricos daquele Ministério. Retira, portanto, do Ministério da Agricultura os poderes e responsabilidades até então conferidos pelo Código de Águas, no que diz respeito aos objetivos ali propostos .

4 - Elege a Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento, principal cenário para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos .

5 - Em obediência ao já previsto na Constituição Federal de 1988, considera a Lei 9433 que a água é um bem de domínio público, revogando casos em que o Código de Água de 1937 admitia o domínio privado.

6 - Define o princípio de se reconhecer a água como um bem finito, que tem um valor econômico, instituindo assim a base para a cobrança pelo usos dos recursos hídricos, que forem sujeitos a outorga pelo poder público.

7 - Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a ser composto por;

- Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos
- Comitês de Bacias Hidrográficas
- Órgãos de Poderes Públicos (Federais / Estaduais / Municipais), que tenham envolvimento com Recursos Hídricos.
- Agências de águas (representando a secretaria executiva do respectivo ou respectivos comitês de Bacia).

8 - Estabelece o princípio dos Usos Múltiplos para a gestão dos recursos hídricos, quebrando a hegemonia de um setor usuário sobre os demais (até então o setor elétrico detinha a hegemonia no processo de gestão dos Recursos Hídricos no Brasil). Com a Lei 9433 será possível igual direito de acesso de todos os setores usuários aos recursos hídricos.

2.2.1.2 - Leis Estaduais:

Pelo fato dos estados terem um domínio sobre determinada reserva de água no país, conforme estabelece a Constituição de 1988, que institui como bens dos estados, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas as de domínio da União, surgiu a necessidade de serem aprovadas suas respectivas leis de organização administrativa para o setor de recursos hídricos. Abaixo relacionamos alguns estados e sua legislação específica:

Bahia - Lei 6.855, de 12 de maio de 1995 - dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de recursos Hídricos e dá outras providências.

Ceará - Lei 11.996, de 24 de julho de 1993 - dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências.

Lei 12.245, de 30 de janeiro de 1993 - dispõe sobre o Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FUNORH, revoga os Arts. 17 e 22 da Lei 11.996 de 24/07/92 e dá outras providências.

Pernambuco - Lei 11.426, de 17 de janeiro de 1997 - dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.

Rio Grande do Norte - Lei 6.908, de 01 de julho de 1996 - dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências.

Paraíba - Lei 6.308, de 02 de julho de 1996 - Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências.

Sergipe - Lei 3.870, de 25 de setembro de 1997 - Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.

Distrito Federal - Lei 512, de 28 de julho de 1993 - Dispõe sobre a Política de Recursos Hídricos no Distrito Federal, Institui o Sistema de Gerenciamento integrado de Recursos Hídricos - SGIRH- DF.

Minas Gerais - Lei 11.504, de 20 de junho de 1994 - Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.

Rio Grande do Sul - Lei 10.350, de 30 de dezembro de 1994 - Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul

Santa Catarina - Lei 9.748, de 30 de novembro de 1994 - Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.

São Paulo - Lei 7.663, de 30 de dezembro de 1991 - Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

É interessante ressaltar o fato de que estas leis estaduais são bastante recentes, o que faz notar o agravamento das questões hídricas no Brasil na década de 90 e que a maior parte dos estados que já tinham uma lei específica para a gestão dos seus recursos

hídricos são os estados do Nordeste, que pela sua semi-aridez, são os primeiros a sentirem os problemas relacionados a escassez de recursos hídricos.

2.3 – Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos

Um importante ramo do conhecimento para os profissionais do gerenciamento dos recursos hídricos, é a análise de sistemas de recursos hídricos que teve suas bases históricas apresentadas em 1960 no “Harvard Water Program”; Braga (1987), Mass et al (1970) e Fiering (1976).

Segundo Lanna (1997) a análise de sistemas de recursos hídricos é uma técnica de solução de problemas complexos de Engenharia de Recursos Hídricos a partir da abordagem sistêmica e do uso de técnicas de simulação e otimização (técnicas computacionais agregadas à modelagem matemática de sistemas de recursos Hídricos). Nesta definição estão inseridos termos técnicos como: Engenharia de Recursos hídricos, abordagem sistêmica e técnicas de análise de sistema (simulação e otimização) que merecem um devido comentário.

A Engenharia de Recursos Hídricos envolve decisões relacionadas à infraestrutura hídrica. De forma sumária, ela visa promover a alteração dos padrões qualitativos e quantitativos das disponibilidades de água de forma a adequá-los aos padrões qualitativos e quantitativos das demandas hídricas. Quando o padrão espacial de disponibilidade de água não está adequado ao padrão espacial das demandas dos centros de consumo pode torna-se necessário a busca de água em outros locais, seja na superfície ou no subsolo, de forma oposta, quando o problema é excesso (cheias) a solução pode ser obtida com a construção de canais, bueiros ou outras estruturas que desviem parte das águas para locais onde possam ser acomodadas adequadamente. Em todas as situações o padrão espacial de disponibilidade de água é alterado para adequá-lo ao padrão espacial das demandas.

O padrão qualitativo das águas, tanto quanto o quantitativo, deve ser objeto de consideração e de adequação das disponibilidades com as demandas. Afinal, não basta a água estar disponível na quantidade certa, a qualidade também importa. Por exemplo: de que adianta ter um reservatório com capacidade d'água que possa suprir a demanda de um município, se não existe uma estação de tratamento para a água armazenada, afim de adequá-la ao consumo. O padrão qualitativo de disponibilidade de água é intrinsecamente vinculado ao padrão quantitativo. A complexidade das decisões que

fazem parte da Engenharia de Recursos Hídricos decorre tanto das diferentes possibilidades de suprimento às demandas quanto das variabilidades destas demandas.

As principais classes de demandas de água são:

1-Infra-estrutura social: refere-se às demandas gerais da sociedade nas quais a água é um bem de consumo final.

2-Agricultura e aquicultura: refere-se às demandas de água como bem de consumo intermediário visando a criação de condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de espécies animais ou vegetais de interesse para a sociedade.

3-Industrial: demandas para atividades de processamento industrial e energético nas quais a água entra como bem de consumo intermediário.

Quanto a natureza de utilização existem três possibilidades:

1-Consuntivo: refere-se aos usos que retiram a água de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades quantitativas, espacial e temporal.

2-Não-consuntivo: refere-se aos usos que retornam à fonte de suprimento, praticamente a totalidade da água utilizada, podendo haver alguma modificação no seu padrão temporal de disponibilidade quantitativa.

3-Local: refere-se aos usos que aproveitam a disponibilidade de água em sua fonte sem qualquer modificação relevante, temporal ou espacial, de disponibilidade quantitativa.

2.3.1 - Conflitos de Uso da Água

Com a aceleração do desenvolvimento econômico, ampliou-se os objetivos socio-econômicos e conseqüentemente a diversificação dos usos da água, com um acentuado e crescente aumento do consumo. Entretanto nem sempre pode-se aumentar a oferta na mesma proporção, pois existem limites naturais, como a quantidade de água precipitada numa determinada região, a falta de mananciais que sirvam de suporte para o abastecimento de uma região, etc. Desta forma agravam-se os conflitos, pois justamente por ser a água um elemento que serve a múltiplos usos é comum ocorrer a competição entre usuários, tornando-se fundamental, portanto, estabelecer mecanismos que permitam o uso desse bem de forma ordenada, realizando um gerenciamento integrado dos recursos hídricos, considerando todos os usos e atividades que possam resultar em conflitos ou degradação para o meio ambiente.

Segundo Lanna (1997) os conflitos de uso das águas podem ser classificados como:

Conflitos de destinação de uso: esta situação ocorre quando a água é utilizada para destinações outras que não aquelas estabelecidas por decisões políticas, fundamentadas ou não em anseios sociais, que as reservariam para o atendimento de demandas sociais, ambientais e econômicas. Por exemplo, a retirada de água de reserva ecológica para a irrigação.

Conflitos de disponibilidade qualitativa: Situação típica de uso de água em rios poluídos. Existe um aspecto vicioso nestes conflitos, pois o consumo excessivo reduz a vazão de estiagem deteriorando a qualidade das águas já comprometidas *a priori* pelo lançamento de poluentes. Esta deterioração por sua vez, torna a água ainda mais inadequada para consumo.

Conflitos de disponibilidade quantitativa: Situação decorrente do esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo. Exemplo: uso intensivo de água para irrigação impedindo outro usuário de captá-la, ocasionando em alguns casos esgotamento das reservas hídricas. Este conflito pode ocorrer também entre dois usos não-consuntivos. Exemplo: operação de hidrelétrica estabelecendo flutuações nos níveis de água acarretando prejuízos à navegação. Em conjunto com esses conflitos ocorrem incrementos das demandas hídricas devido ao aumento populacional, agravando o problema de abastecimento, particularmente nas regiões semi-áridas. Outro problema é o controle de inundações que se tornou imperativo nas regiões que sofreram o efeito simultâneo da urbanização não planejada, que impermeabilizou o solo e invadiu o leito maior dos rios, e do manejo do solo não adequado, que assoreou os cursos de água. O estágio de apropriação dos recursos hídricos no Brasil atingiu um nível em que conflitos de uso são fartamente detectados nas regiões mais desenvolvidas ou mais carentes de água. Além daqueles relacionados com a qualidade de água, notados nas bacias urbanizadas e industrializadas, existem também conflitos quantitativos. Suas soluções exigem análises técnicas e institucionais de grande complexidade. Conclui-se, portanto, que o uso múltiplo dos recursos hídricos poderá ser uma opção inicial, mas também será uma consequência natural do desenvolvimento econômico.

2.3.2 - Técnicas de Análise de Sistemas

São técnicas computacionais agregadas a modelagem matemática de sistemas de recursos hídricos. Abaixo descrevemos alguns termos pertinente ao assunto:

sistema- conjunto de elementos inter-relacionados que interagem entre si, ou seja, é qualquer estrutura, esquema ou procedimento que num dado tempo de referência inter-relaciona-se com uma entrada, causa e uma saída, efeito. Por exemplo, uma bacia hidrográfica é um sistema que acionado por uma entrada, a precipitação, através dos diversos fenômenos do ciclo hidrológico, transforma esta precipitação em vazão, saída.

modelo- é uma representação do comportamento do sistema.

fenômeno- é um processo físico que produz alteração de estado no sistema. Por exemplo: precipitação, evaporação, infiltração etc.

variável- é um valor que descreve quantitativamente um fenômeno variando no espaço e no tempo. Por exemplo: vazão e evaporação.

parâmetro- é um valor que caracteriza o sistema. Por exemplo. A área da bacia, o raio hidráulico de uma seção transversal.

2.3.2.1 – Técnicas de Simulação

Basicamente as técnicas para análise de sistemas de recursos hídricos podem ser agrupadas em: técnicas de simulação e técnicas de otimização Loucks et al. (1981). Os modelos de simulação procuram oferecer uma representação do mundo real através da realidade computacional com o objetivo de permitir a geração e a análise de alternativas, antes da implementação de qualquer uma delas. Por isso, dão ao planejador um grau de liberdade e flexibilidade considerável, com relação ao processo da tomada de decisão. Hall e Dracup (1970) e Loucks et al. (1981), definem simulação como um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em uma sequência lógica que descreve a operação do sistema no espaço e no tempo. Assim, a simulação procura representar um sistema em seus aspectos importantes. Um modelo de simulação não determina, por exemplo, a política ótima de um sistema de reservatórios. A partir da definição da política de operação a ser seguida, o modelo de simulação permite o acompanhamento dos níveis dos reservatórios, e de outras variáveis pertinentes ao longo do tempo.

Os modelos de simulação são classificados em: (Hall e Dracup, 1970; Hermann, 1970) modelos físicos, modelos analógicos e modelos digitais ou matemáticos.

Físicos - Representa o sistema por um protótipo em menor escala .

Analógicos - Valem-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos para modelar, no sistema mais conveniente, o fenômeno mais complexo. Por exemplo a

analogia entre as equações de escoamento hidráulico de um circuito elétrico, permite representar o sistema hidráulico complexo e caro, por um circuito de custos reduzidos .
Matemáticos ou digitais - Representam a natureza do sistema através de equações matemáticas.

Os modelos físicos e analógicos tem vantagens quando as leis físicas não podem ser expressas de forma sucinta e com equações facilmente resolvíveis, enquanto que os modelos matemáticos são mais versáteis, pois pode-se modificar a sua lógica, obtendo-se resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas, outras vantagens são a alta velocidade de processamento pelo computador, baixo custo e maior flexibilidade para os modeladores que gostam de fazer mudanças. É penalizado pela dificuldade de representação matemática dos fenômenos físicos e discretização de processos contínuos .

Segundo Braga (1987), existem dois tipos básicos de modelos de simulação em recursos hídricos: simulação dos processos hidrológicos e da quantidade da água, onde se obtêm informações dos aspectos quantitativos e qualitativos do ciclo hidrológico e a simulação dos aspectos de dimensionamento e operação de sistemas de recursos hídricos.

2.3.2.2 – Técnicas de Otimização

Quando na análise do sistema existe o interesse em otimizar o processo decisório de acordo com uma valoração estabelecida pela função objetivo devem ser aplicadas técnicas de otimização. Para se definir entre um modelo otimizante ou um modelo de simulação, deve-se considerar a complexidade do sistema estudado, ou seja, as características do sistema considerado, dos dados avaliados e dos objetivos e restrições especificadas, os quais possibilitarão a opção por modelos de otimização ou modelos de simulação ou ainda uma combinação entre os mesmos. Casos onde o conhecimento dos fenômenos a serem tratados é suficiente para escrever equações que descrevem e governam o sistema, podem ser tratados por um modelo otimizante ou por modelos de simulação matemáticos. Para sistemas complexos que não podem ser analisados diretamente através das metodologias analíticas formais, usa-se a simulação física ou analógica.

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, podem comparecer também as 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:

$$\text{Max(Min)} F(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.1)$$

sujeito a

$$\begin{aligned} g_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_1; < b_1; = b_1 \\ g_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_2; < b_2; = b_2 \\ g_m(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_m; < b_m; = b_m \end{aligned} \quad (2.2)$$

onde, além das variáveis definidas anteriormente, 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 (2.2) é chamado de solução viável. Dentre as soluções viáveis, aquela que também satisfaz a (2.1) é chamada de solução ótima.

Segundo Hilleir e Lieberman, (1988) os modelos de otimização mais utilizados são: programação linear, programação dinâmica e programação não linear. Faremos abaixo um breve resumo destas técnicas de otimização.

2.3.2.2.1 - Programação Linear

Todo problema de programação linear caracteriza-se pelo estabelecimento de relações lineares, ou seja, todas as equações envolvidas são necessariamente representadas por variáveis do primeiro grau. Um problema de programação linear pode ser abordado da seguinte forma: considere n variáveis não-negativas X_j ($j= 1,2,3,\dots,n$) e uma função linear Z destas variáveis que deve ser maximizada .

$$\text{forma : MAX } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (2.3)$$

sujeito a

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n &\leq b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n &\leq b_2 \\ \dots &\dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n &\leq b_m \\ X_1 \geq 0 ; X_2 \geq 0 \dots X_n \geq 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.3.2.2.2 - Programação Dinâmica

O modelo matemático de programação dinâmica utilizado quando se tem uma seqüência de decisões que envolvem várias etapas e determina-se qual a melhor combinação de decisões feitas com a finalidade de obter a seqüência ótima de decisões. Esta seqüência de decisões submete a divisão do problema em uma série de estágios com uma política de decisão para cada estágio. Para cada estágio pode haver qualquer número de estados associados a ele. Dado o estado presente, a política para os estágios remanescentes não depende da política adotada nos estágios anteriores. Em contraste com a programação linear, não existe uma formulação matemática padrão para o problema de programação dinâmica. Ao contrário, a programação dinâmica é um tipo geral de abordagem para a solução de problemas e as equações particulares usadas têm que ser desenvolvidas para se ajustarem a cada situação em particular. Por isso, é necessário um certo grau de engenhosidade e discernimento, diante da estrutura geral dos problemas de programação dinâmica para se reconhecer quando um problema pode ser resolvido pelos procedimentos de programação dinâmica e como isso seria feito. Provavelmente, essas habilidades podem ser melhor desenvolvidas através da exposição a uma ampla variedade de aplicações da programação dinâmica e do estudo das características que são comuns a todas estas situações .

2.3.2.2.3 - Programação Não-Linear

A programação não-linear, na sua formulação, é semelhante a formulação geral da programação linear, consiste em uma função objetivo e um conjunto de restrições. A programação não-linear, caracteriza-se por não ter os requisitos de linearidade e convexidade que a programação linear exige. O modelo matemático geral pode ser representado da seguinte forma :

$$\text{MAXIMIZAR OU MINIMIZAR } Z = f(X) \quad (2.5)$$

Sujeito as restrições:

$$g_i(X) < 0; \quad i = 1, 2, \dots, m_1$$

$$h_k(X) = 0; \quad k = 1, 2, \dots, m_2 \quad (2.6)$$

$$X^L \leq X \leq X^U$$

onde;

Z – função objetivo que define a grandeza a ser otimizada.

$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ é um vetor contendo n variáveis denominadas variáveis de decisão, cujos valores ótimos se busca determinar.

$g_i(X) < 0$ (ou > 0) e $h_k(X) = 0$ são restrições de desigualdade e de igualdade.

X^L e X^U representam os valores mínimos e máximos que podem ser assumidos pelas variáveis de decisão.

A programação não-linear, determina pontos de máximo e mínimo (extremos), para funções restritivas e não-restritivas. Os problemas não restritivos só necessitam de uma função objetivo, enquanto que os restritivos devem ter suas restrições expressas em forma de equações ou desigualdades.

CHANG (1982) considera a programação linear um progresso em relação ao contexto da otimização clássica, uma vez que as restrições podem entrar no problema na forma de desigualdades e, assim, faz-se explicitamente a introdução das condições de não-negatividade no mesmo. Entretanto, a necessidade de confinar a função objetivo e as restrições a um modelo linear pode, às vezes, ser uma limitação significativa. Desta forma, um progresso adicional seria uma estrutura de otimização que pudesse trabalhar com funções objetivo e restrições em forma de desigualdades que não sejam lineares sendo que tal estrutura é encontrada na programação não-linear. Os problemas práticos de otimização frequentemente envolvem comportamento não-linear que deve ser levado em consideração. Às vezes é possível reformular estas relações não-lineares para ajustar o problema a um formato de programação linear. Em contraste com o método simples para programação linear, não existe nenhum algoritmo eficiente que possa ser usado para resolver todos os problemas de programação não linear. Na verdade, alguns destes problemas não podem ser resolvidos por nenhum método, de maneira muito satisfatória. Entretanto, tem havido um progresso considerável para algumas classe importantes de problemas. Para estes casos, existe disponível uma variedade de algoritmos que são usados com alguma frequência e que têm demonstrado um desempenho razoavelmente bom.

2.4 - Abordagem Sistêmica

A abordagem sistêmica acha-se intimamente relacionada à busca de solução de problemas complexos, como usos conflitantes dos recursos hídricos. Pode-se afirmar de

uma forma mais precisa que a abordagem sistêmica está relacionada à abstração, ou simplificação, de um problema complexo de tal maneira que apenas sejam mantidas as informações mais relevantes para sua solução. A abordagem sistêmica, há muito vêm sendo utilizada. A técnica mais utilizada é, sem sombra de dúvidas, a simulação matemática. Exemplos comuns disto são os modelos hidrológicos de transformação de chuva em vazão. Nota-se que o uso de técnicas de otimização é mais discreto, apesar das suas grandes possibilidades. No Brasil, é prática normal do setor elétrico o uso de técnicas de programação dinâmica e de programação linear para estudos de operação do sistema elétrico interligado, composto por um grande número de reservatórios, hidroelétricas e termoelétricas. Diversos artifícios são utilizados para tratamento das dimensões dos sistemas, que podem atingir valores consideráveis. Por exemplo, seja um sistema com 5 reservatórios que atendem a um único centro de consumo de água ou energia. Deseja-se otimizar sua operação supondo a existência de uma série hidrológica de 20 anos ou 240 meses. Em cada reservatório deverá ser definido no mínimo as seguintes variáveis:

S_{jt} - armazenamento do reservatório j no início do intervalo de tempo t .

Q_{jt} - a descarga do reservatório j durante o intervalo de tempo t .

E_{jt} - a evaporação do reservatório j , durante o intervalo de tempo t .

As equações ou inequações deverão ser:

- balanço hídrico em cada reservatório em determinado intervalo de tempo
- limite máximo de armazenamento em cada reservatório em cada intervalo de tempo
- limite mínimo de armazenamento em cada reservatório e intervalo de tempo.

como são 5 reservatórios e um intervalo de tempo de 240 meses, poderíamos traçar um problema de otimização que teria, além da função objetivo, um sistema que representaria um total de 3600 variáveis e mesmo número de equações ou inequações. Problemas muito maiores são comuns quando se trata com otimização de sistemas de recursos hídricos com uma complexidade de nível médio. Deve ser notado, porém, que com a evolução da computação, o surgimento de supercomputadores fizeram com que o problema de alta dimensionalidade vá se tornando cada vez menos relevante.

Concluindo, a análise sistêmica de recursos hídricos, em conjunto com técnicas de simulação e de otimização, são potentes ferramentas de suporte à decisão que deverão ter uso cada vez mais disseminado na prática da engenharia de recursos hídricos, e no apoio à aplicação de legislação vigente em termos de outorga e cobrança da água, assim

como ao projeto e operação em geral de sistemas de recursos hídricos, desde os mais simples até aos mais complexos.

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

3.1 - Localização, Extensão e Hidrografia

O sistema em estudo é composto pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, poços amazonas e perímetro de irrigação os quais estão inseridos numa região do Nordeste do Brasil situada no chamado “polígono das secas”, a noroeste do estado da Paraíba, numa altitude de 250 metros sob coordenadas geográficas de 6° 54' 30" de latitude sul e 37° 35' 50" de longitude a oeste de Greenwich; esta região é parte integrante da Bacia do Médio Piranhas (Figura 3.1) a qual situa-se no quadrante noroeste da Paraíba e faz parte do conjunto das seis sub-bacias que compõe a bacia do rio Piranhas. Na bacia do Médio Piranhas estão inseridos os municípios de Belém do Brejo do Cruz, Catolé do Rocha, Brejo do Cruz, Brejo dos Santos, São Bento, Bom Sucesso, Jericó, Riacho dos Cavalos, Lagoa Paulista, Pombal, Vista Serrana, Condado e Malta (Figura 3.2). Os municípios de Condado e Malta são abastecidos pelo reservatório Engenheiro Arcoverde. A região em estudo é constituída pela bacia hidrográfica de drenagem (BHD) do açude Engenheiro Arcoverde e apresenta uma área de 124 Km². A Figura 3.3 mostra a BHD, destacando o reservatório Engenheiro Arcoverde, seus afluentes que são de regime intermitente e a densidade de açudes a montante do reservatório Engenheiro Arcoverde.

3.2 - Clima

A bacia do açude Engenheiro Arcoverde, de acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (1994), apresenta duas classificações para o clima:

- a) Koppen-Aw⁷ (quente e úmido com estação seca de inverno e outra chuvosa de verão-outono influenciado pela massa equatorial norte).
- b) Gaussen-4aTh (tropical quente com estação seca longa, de 7 a 8 meses).

3.3 – Temperatura

Com base nos dados obtidos do Atlas Climatológico do Estado da Paraíba, a temperatura média mensal na região do município de Condado varia de 24°C a 27°C. Os meses mais quentes correspondem ao período de outubro a dezembro, e os menos quentes de maio a agosto.

3.4 - Umidade relativa do ar

Em virtude de não se ter estação climatológica na região em estudo, procurou-se outra região com características fisiográficas semelhantes, que retrata-se bem a região em estudo. A média mensal da umidade relativa do ar, obtida de dados registrados no posto climatológico de Patos, distante 35 Km de Condado, dão uma idéia do comportamento desta variável na região em estudo. Os dados medidos neste posto apresentam valores médios anuais de 49%.

Tabela 3.1 - Umidade relativa do ar (%)

Posto de Patos

Mês	Umidade relativa média
Janeiro	47
Fevereiro	53
Março	60
Abril	57
Maiο	54
Junho	51
Julho	48
Agosto	44
Setembro	42
Outubro	41
Novembro	42
Dezembro	44
Média	49

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos - 1994

3.5 - Velocidade do Vento

Por falta de estação climatológica na região do reservatório Engenheiro Arcoverde, adotou-se para o estudo dos ventos a estação climatológica de Patos, que representa bem a região em estudo, onde os anemômetros a 0,5 m do solo dão uma idéia do comportamento do vento nessa região que varia em média mensalmente de 2 m/s a 3 m/s. (Fonte: Atlas Climatológico do Estado da Paraíba-1984).

3.6 - Insolação

A duração efetiva do dia (número de horas de sol) na região do município de Condado apresenta a seguinte variação nos valores médios mensais: entre os meses de fevereiro e julho, ocorre uma insolação que varia entre 7 e 8 horas diárias; entre os meses de agosto e janeiro a insolação varia entre 8 e 9 horas diárias (Fonte: Atlas Climatológico do Estado da Paraíba).

3.7 - Evaporação

A evaporação média mensal da bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Arcoverde é estimada a partir de dados do Tanque Classe A operado pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) no posto de Patos, em muitos meses do ano, a média evaporimétrica registrada é superior ao valor precipitado com valores máximos em torno de 350 mm e mínimos de 150 mm, a média anual situa-se em torno de 2200 mm.

3.8 - Regime Pluviométrico

Considerando os dados dos postos pluviométricos das cidades de Condado e Malta, a pluviometria anual média da bacia no período de 1973-1991 se situa em torno de 860 mm, tendo como período chuvoso os meses de janeiro até maio, sendo o trimestre mais chuvoso fevereiro, março e abril. Durante o resto do ano a região fica sob os efeitos de estiagem

prolongada com os meses de agosto, setembro e outubro representando o trimestre mais seco.

Tabela 3.2 - Precipitação média mensal da bacia hidrográfica do açude Engenheiro Arcoverde (1973-1991)

Mês	Precipitação Média na Bacia(mm)
Janeiro	69,2
Fevereiro	143,5
Março	215,0
Abril	215,2
Mai	74,4
Junho	32,7
Julho	25,7
Agosto	9,5
Setembro	7,8
Outubro	15,5
Novembro	17,6
Dezembro	36,7
Total	862,5

Fonte: ATECEL - 1998

3.9 - Vegetação

A associação de plantas nativas que revestem a área é típica da região fisiográfica formada por uma mistura de ervas e trepadeiras, com arbustos e árvores, mais ou menos esparsos. A caatinga hiperxerófila é predominante na região e suas principais espécies

nativas são: Favela, Marmeleiro, Pereiro, Capim-Panasco, Jurema, Pinhão, Juazeiro, Catingueira, Malva, Aroeira, Gitirana, Bredo, Oiticica, Jaramataia, Mucambê, Vassourinha, Coroa-de-Frade, Caraibeira, Velame e Capim Pé de Galinha.

3.10 – Relevo

A região se caracteriza por possuir uma topografia acentuada, principalmente nos divisores da bacia onde se observa a presença da serra do Melado ao norte e outras elevações ao oeste da bacia com altitudes superiores a 500 m.

3.11 - Solos

Observa-se na bacia hidrográfica do açude a predominância dos seguintes tipos de solos: Bruno Não Cálcico Vérticos e não Vérticos de pouca espessura, associados com solos Litólicos Eutróficos e solos Aluviais restritos a faixas estreitas. A jusante da barragem; Podzólicos Vermelho Amarelo Eutróficos, existentes nos interflúvios, principalmente nas áreas cortadas por afluentes da margem esquerda do rio piranhas.

Foi feita através do mapa Pedológico da Paraíba um reconhecimento do solo para um raio de 10 Km da barragem, correspondente uma área de 315,5 Km². O resultado encontrado foi:

74,96% de solo Bruno não Cálcico

18,69% de Litólico Eutrófico

6,34% de Aluvião

3.12 - Reservatório Engenheiro Arcoverde

3.12.1 - Dados técnicos

O açude público Engenheiro Arcoverde (Figura 3.5) localiza-se no município de Condado cujos limites geográficos são os seguintes:

Ao Norte- Município de Desterro de Malta-Pb.

Ao Sul- Município de Catingueira-Pb.

Ao Leste - Município de Malta-Pb.

Ao Oeste - Município de Pombal-Pb.

Foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) num período de cinco anos (1932-1936) para ter uma capacidade de acumulação de 35.000.000 m³ (trinta e cinco milhões de metros cúbicos) e com a finalidade inicial de dotar o semi-árido nordestino de uma estrutura hidráulica para combater os efeitos das secas periódicas e das irregularidades das chuvas. Este empreendimento visa, também, atender a demanda das cidades de Condado e Malta e, posteriormente, ao perímetro de irrigação ali implantado.

O açude Engenheiro Arcoverde pertencente a bacia do médio Piranhas barra o riacho Mata Fome que é afluente do riacho Gado Bravo, este por sua vez é afluente do rio Piranhas pela margem direita (Figura 3.4).

Dados técnicos da barragem:

- a) Tipo- Barragem de terra homogênea
- b) Taludes: montante - 2:1; jusante- 2:1
- c) Altura máxima: 20,76 m
- d) Extensão do coroamento: 1.079 m
- e) Largura do coroamento: 7 m
- f) Largura máxima da base: 91,6m
- g) Perímetro da bacia hidrográfica de drenagem: 68,67 Km
- h) Comprimento do maior afluente : 19,55 Km
- i) Área da bacia hidrográfica de drenagem: 124 Km²
- j) Área média da bacia hidráulica: 441,05 Km²
- k) Cota de tomada d'água: 7,10 m
- l) Volume morto : 3.010.000 m³
- m) Diâmetro da tubulação de tomada d'água: 900 mm
- n) Qualidade da água do reservatório; C1-S1

O açude é atualmente administrado pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA) e, segundo a mesma, a demanda das cidades de Condado e Malta totalizam uma vazão de 35.585,83 m³/mês ou 427.030 m³/ano. A cidade de Condado fica a

1 Km distante da estação de bombeamento a qual fica vizinha ao reservatório e é suprida com uma vazão de 35 m³/h através de um sistema com duas bombas de 15 CV funcionando 24 horas por dia. A cidade de Malta fica 9 Km distante da estação de bombeamento e é suprida com uma vazão de 46 m³/h através de um sistema com duas bombas de 30 CV funcionando 24 horas por dia. (Dados fornecidos pela CAGEPA)

3.12.2 - Perímetro de Irrigação de Condado

O perímetro de irrigação de Condado dispõe de um conjunto de estradas internas que permite a ligação entre diversos pontos de sua área e atende razoavelmente às necessidades locais de vias de transporte. As estradas principais se estendem, a partir da sede do posto agrícola, acompanhando o curso de riacho das Timbaúbas e dos canais principais e secundários de irrigação existentes. Os canais tem estrutura de concreto armado e secção trapezoidal (Figura 3.6), sendo que os principais são chamados de P1 (canal leste) e P2 (canal oeste), a secção dos canais principais é dada por:

Base maior - 1,50 m

Base menor - 0,7 m,

Altura - 1,20 m

Extensão dos canais - 15.088 m

os canais secundários tem secção de:

Base maior - 0,8m

Base menor - 0,4m

Altura - 0,6m

Extensão dos canais - 36.000 m

Todas as estradas são de terra, sendo que as principais tem uma largura média de 4 m e as demais, que cortam todo o perímetro, são mais estreitas. O transporte para outras localidades é basicamente realizado através da rodovia federal BR-230, a margem da qual o perímetro de irrigação se localiza e que passa pela barragem do açude. Por essa estrada se alcança Patos, Campina Grande, João Pessoa, a leste e a oeste, Pombal, Sousa e Cajazeiras se conectando ao estado do Ceará.

Este perímetro abrange uma área de 459,3 ha, sendo que 230 ha é de agricultura irrigada e 229,3 ha de agricultura de sequeiro. O perímetro atende atualmente a 53 famílias (aproximadamente 200 pessoas), das quais 25 famílias (100 pessoas) dependem totalmente do abastecimento de água do açude para garantir o seu sustento. As demais contam com a água de poços amazonas (Figura 3.7) construídos nos aluviões à jusante do citado açude num total de 92 poços, porém atualmente só 72 encontram-se em atividade utilizando bombas de 7,5 CV, 10 CV, 12,5 CV, e 15 CV as quais trabalham em média 8 horas por dia. A potencialidade hídrica destes aluviões encontra-se em estudo pela ATECEL (Associação Técnica Científica Ernesto de Oliveira Júnior). As principais culturas encontradas no perímetro irrigado são as culturas permanentes de banana, goiaba e coco e as culturas temporárias de tomate, melancia, melão, feijão, milho e arroz. Estas culturas são irrigadas através dos seguintes métodos : sulco, aspersão e gotejamento.

Figura 3.1 - Bacias do Estado da Paraíba

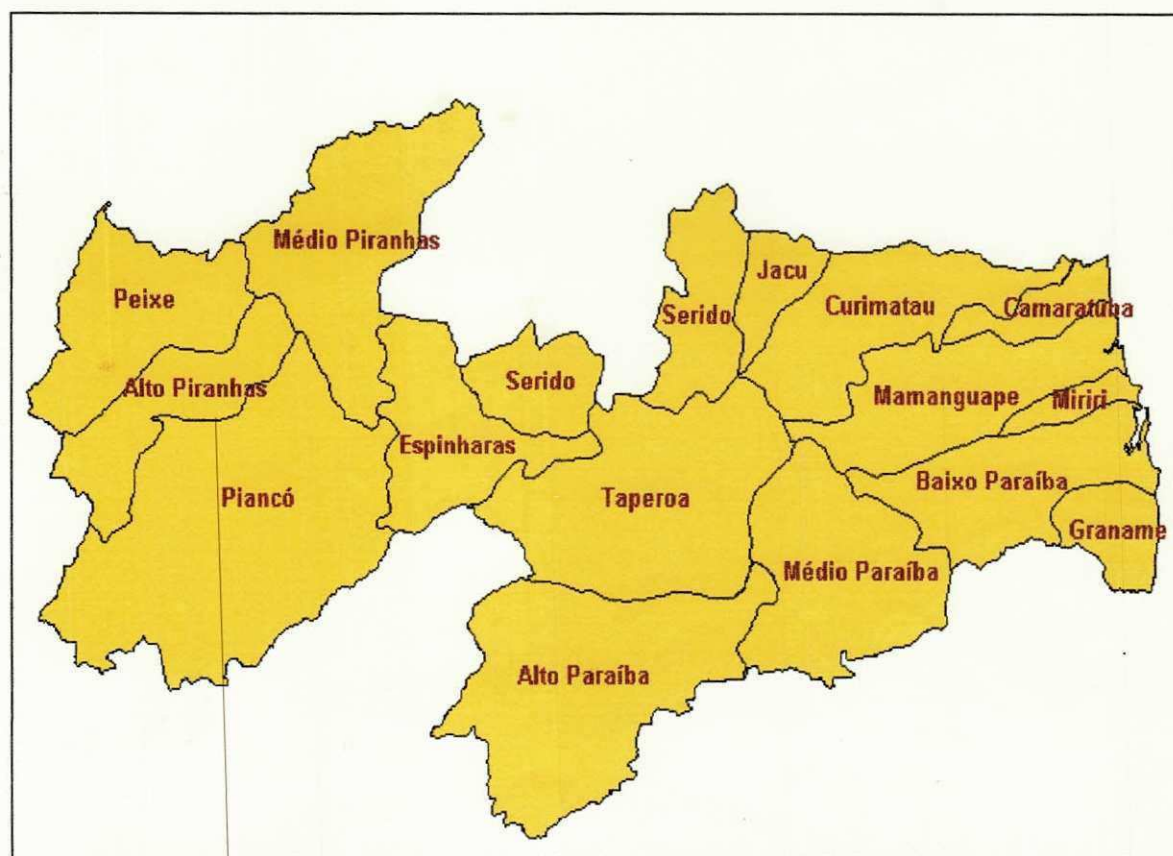


Figura 3.2 - Bacia do Médio Piranhas com os Municípios

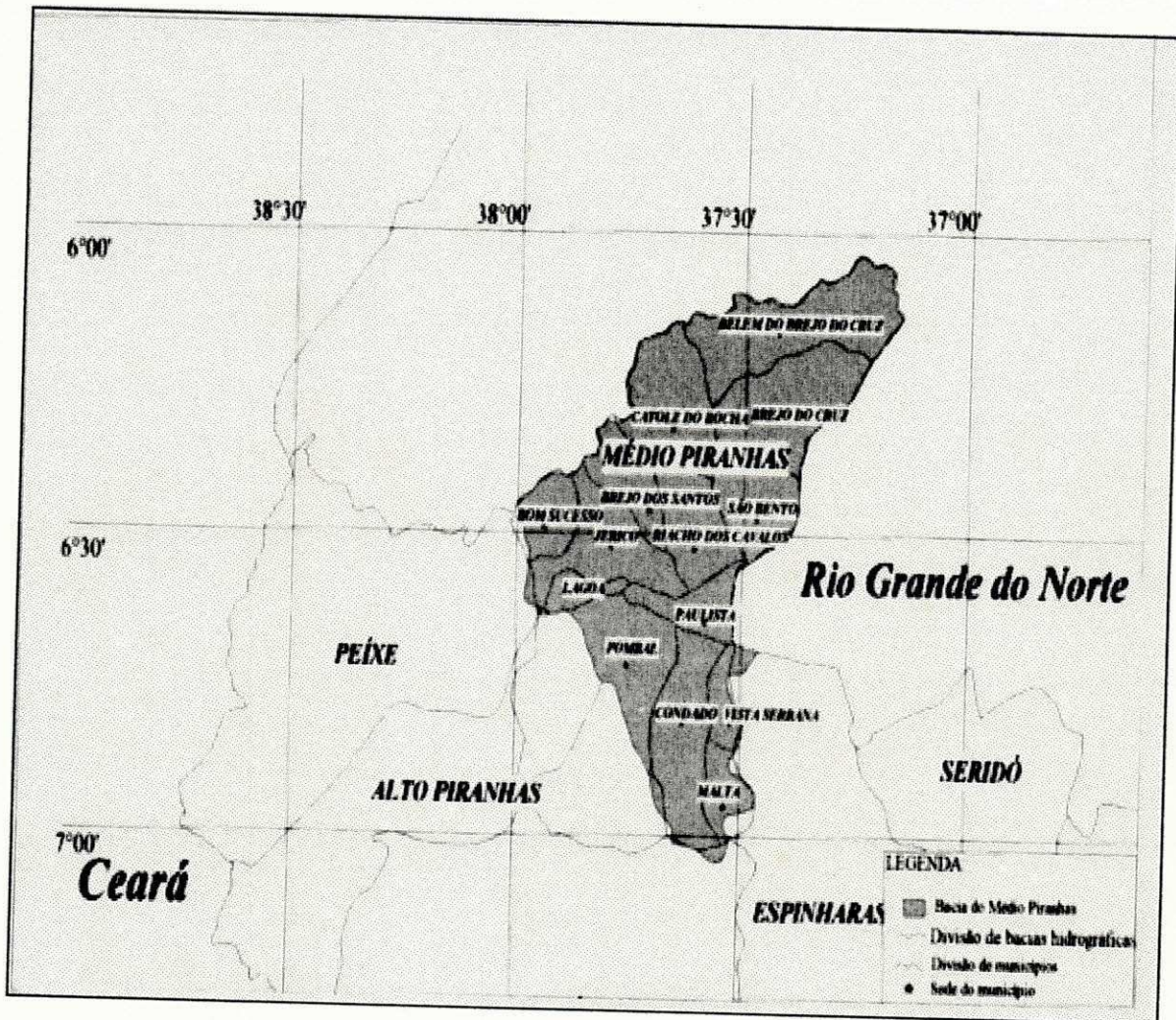


Figura 3.4 – Bacia do Médio Piranhas destacando o açude Engenheiro Arcoverde e o riacho de barramento.



Figura 3.5 – Reservatório Engenheiro Arcoverde

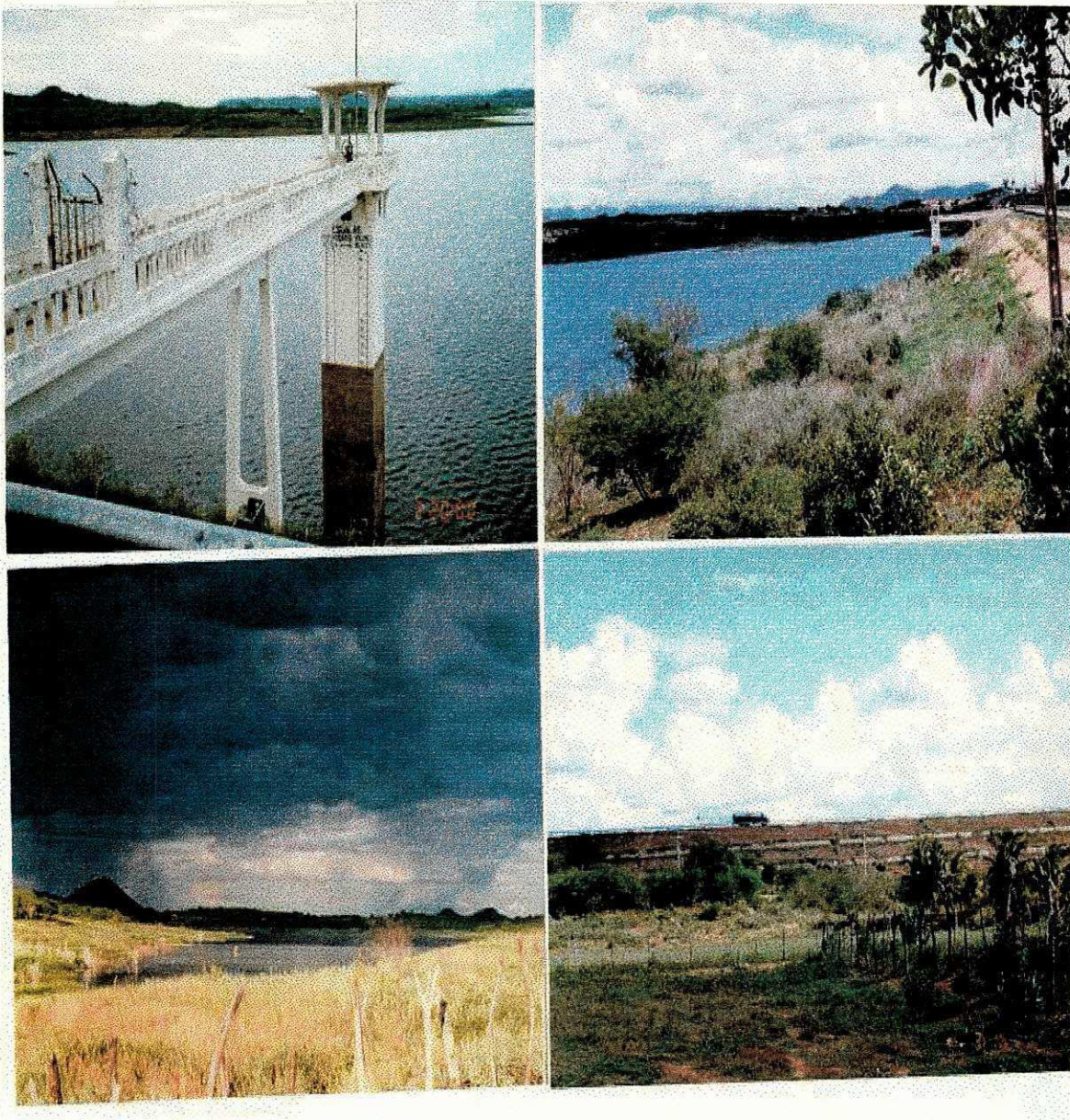


Figura 3.6 – Canais de Irrigação

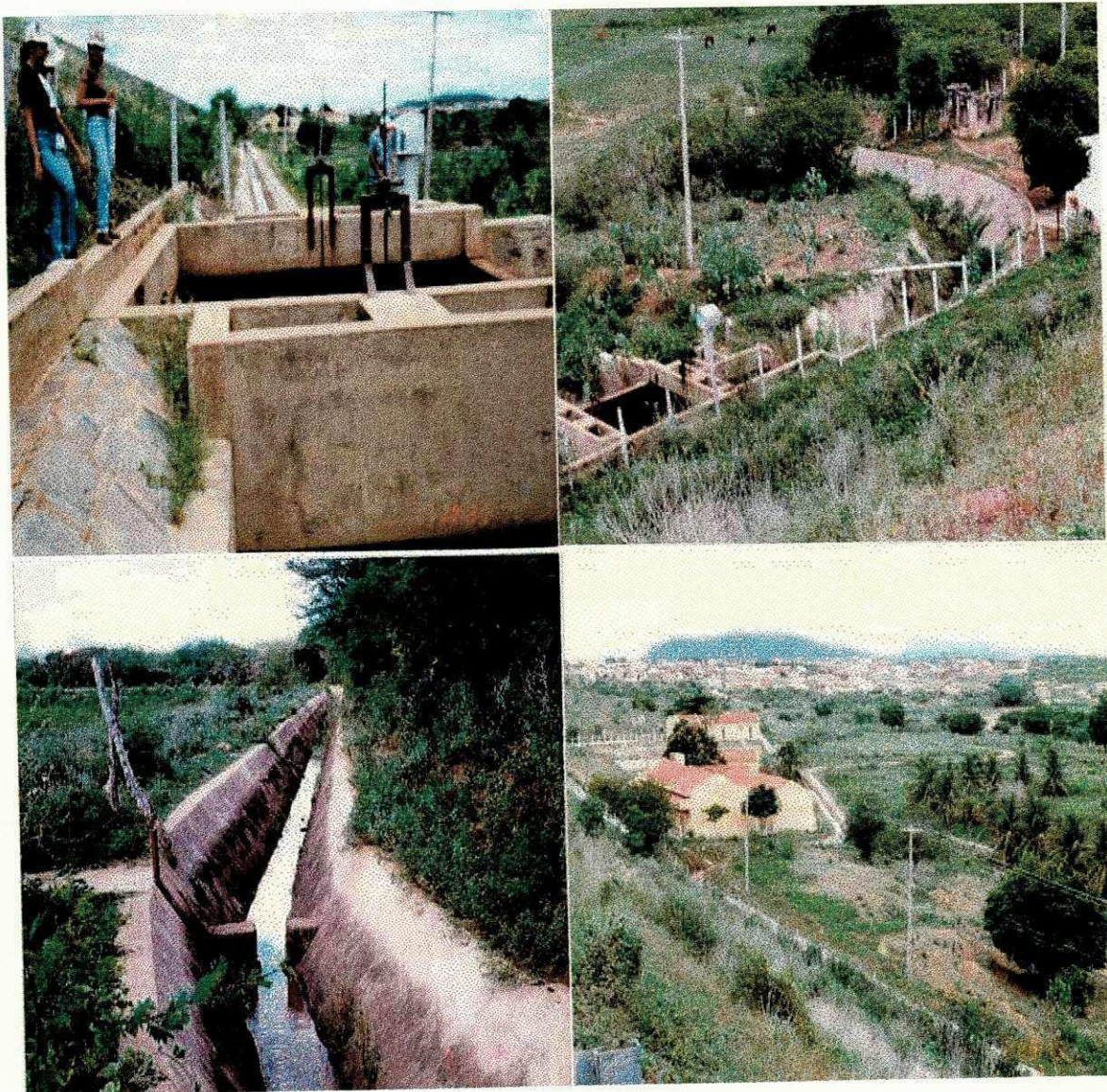
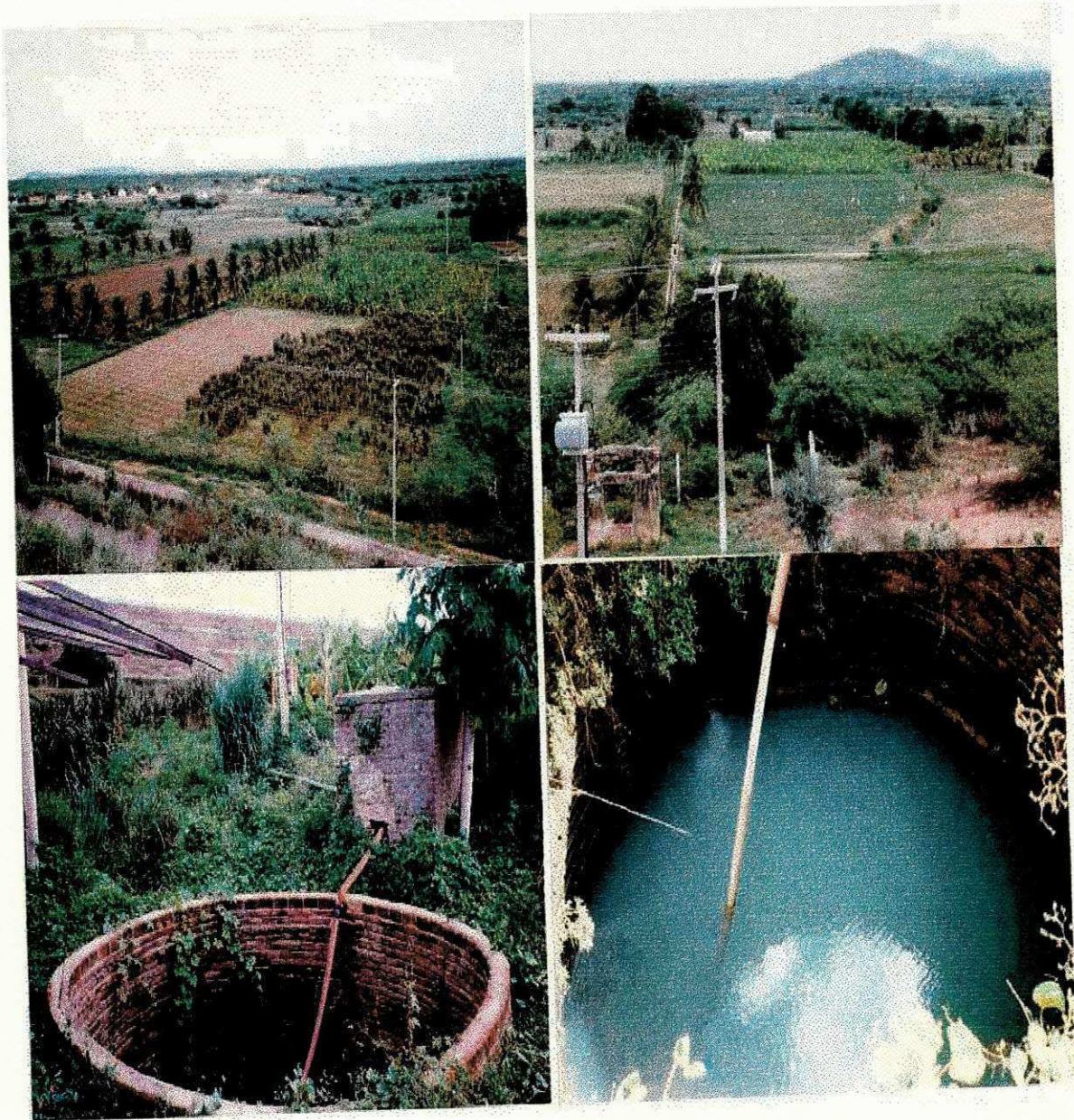


Figura 3.7 – Perímetro Irrigado e Poços Amazonas



CAPÍTULO IV

OS DADOS HIDROCLIMATOLÓGICOS DO SISTEMA EM ESTUDO

4.1 - Introdução

Neste capítulo trataremos de descrever os dados de entrada usados na operação do modelo de otimização utilizado neste estudo, como também a forma de obtê-los. O modelo envolve a operação de um reservatório, poços e um perímetro de irrigação situados no município de Condado-PB. O modelo necessita de dados hidrológicos, de demanda hídrica, relacionados as culturas, característicos do reservatório e característicos do perímetro de irrigação.

Alguns dados de entrada do modelo, por não possuírem séries históricas disponíveis, precisaram ser simulados, como foi o caso das vazões afluentes, geradas através do modelo chuva-deflúvio Tank Model. Os dados em sua forma bruta foram obtidos através dos seguintes órgãos: LRMS (Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba), CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba), DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Administração do Perímetro Irrigado de Condado, EMBRAPA (Empresa Brasileira Agropecuária), SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), DNAEE (Departamento Nacional de Abastecimento de Água e Energia Elétrica) e ATECEL (Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior).

4.2 - Dados Hidrológicos de Entrada do Modelo

Para se fazer uma análise da consistência dos dados hidrológicos utilizados (precipitação, evaporação, demandas hídricas, afluxos), os quais são necessários como dados de entrada do modelo, usou-se a equação do balanço hídrico da seguinte forma: simulou-se para o período de 1974-1980 o volume do reservatório no final de cada mês e depois comparou-se com os volumes observados cedidos pelo LRMS. Esta análise esta representada graficamente na Figura 4.3 no final deste capítulo.

4.2.1 - Balanço Hídrico do Reservatório Engenheiro Arcoverde

O balanço hídrico do reservatório Eng. Arcoverde foi feito para o período de 1974 a 1980 (96 meses- período em que o perímetro irrigado estava em plena atividade) e representa as variações de seus armazenamentos mensalmente ao longo do período, sendo expresso pela seguinte equação :

$$V_{i+1} = V_i + V_P + V_A - V_E - V_{DEM} \quad (4.1)$$

Onde:

V_{i+1} – volume de água no reservatório no final do mês i

V_i – volume do reservatório no início do mês i

V_P – volume precipitado sobre o reservatório durante o mês i

V_A – volume afluente ao reservatório durante o mês i

V_E – volume evaporado do reservatório durante o mês i

V_{DEM} – volume defluente devido a demanda das cidades de Condado, Malta e o Perímetro de irrigação durante o mês i

4.2.1.1 - Volume Observado do Reservatório no final de cada mês

Os dados de volume armazenado no Reservatório no período de 1974 a 1980 que serviram de base para comparar com os volumes simulados pela equação do balanço hídrico foram monitorados pelo LRMS (Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba). Na Tabela 4.1 estão descritos os valores dos volumes observados e a Figura 4.4 mostra a curva Cota-Volume do reservatório Engenheiro Arcoverde.

Tabela 4.1 - Volume mensal observado no Reservatório para o período de 1974 -1980 em m³

Jan/74	15.845.622	Jun/76	18.694.131	Jul/79	13.471.815
Fev/74	25.098.450	Jul/76	17.008.750	Ago/79	11.957.515
Mar/74	31.548.600	Ago/76	15.246.875	Set/79	10.652.355
Abr/74	32.515.751	Set/76	13.815.375	Out/79	9.240.920
Mai/74	33.515.139	Out/76	12.527.035	Nov/79	8.255.645
Jun/74	34.482.290	Nov/76	11.079.715	Dez/79	7.200.012
Jul/74	33.792.010	Dez/76	9.635.030	Jan/80	6.900.712
Ago/74	32.325.165	Jan/77	8.012.495	Fev/80	6.918.135
Set/74	30.258.320	Fev/77	8.956.285	Mar/80	11.631.475
Out/74	29.175.753	Mar/77	11.907.355	Abr/80	11.154.955
Nov/74	28.133.485	Abr/77	25.068.460	Mai/80	10.176.235
Dez/74	27.104.922	Mai/77	34.525.432	Jun/80	9.394.185
Jan/75	25.829.952	Jun/77	33.964.580	Jul/80	8.518.385
Fev/75	29.909.185	Jul/77	32.713.447	Ago/80	7.499.812
Mar/75	34.837.430	Ago/77	31.419.172	Set/80	6.620.118
Abr/75	34.549.677	Set/77	29.520.902	Out/80	5.752.320
Mai/75	34.252.333	Out/77	27.450.062	Nov/80	4.951.837
Jun/75	33.964.580	Nov/77	25.621.665	Dez/80	4.193.000
Jul/75	33.101.730	Dez/77	24.580.227		
Ago/75	31.764.312	Jan/78	23.163.873		
Set/75	30.340.610	Fev/78	25.538.350		
Out/75	28.442.340	Mar/78	29.046.335		
Nov/75	26.802.925	Abr/78	28.701.195		
Dez/75	25.413.377	Mai/78	29.564.045		
Jan/76	24.580.227	Jun/78	28.312.912		
Fev/76	23.663.762	Jul/78	27.277.492		
Mar/76	22.622.325	Ago/78	25.528.350		
Abr/76	22.181.827	Set/78	23.788.735		
Mai/76	20.431.610	Out/78	21.873.098		

4.2.1.2 - Volume precipitado sobre o reservatório durante o mês(V_P)

Os volumes de água precipitados diretamente sobre o reservatório, foram calculados através dos produtos entre as precipitações mensais e as áreas dos espelhos d'água do açude. Estas áreas foram obtidas da curva Cota-Área do reservatório Engenheiro Arcoverde (Figura 4.5), fornecida pelo LRMS.

A precipitação sobre o reservatório Engenheiro Arcoverde para o período de 1974-1980 foi registrada no posto pluviométrico de Condado. Diante da necessidade de preenchimento das falhas nos registros pluviométricos do posto utilizou-se o método da Ponderação Regional com Base em Regressão Linear Simples e para análise de consistência dos dados pluviométricos utilizou-se o método da Dupla Massa. Foi utilizado os registros pluviométricos dos postos de Malta, Desterro de Malta e Pombal

para se fazer a correlação com os dados pluviométricos do posto de Condado. Os dados brutos de pluviometria destes postos foram cedidos pelo LRMS (Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba).

Tabela 4.2 - Precipitação Mensal do Posto de Condado (mm) no período de 1974-1980

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1974	213,1	255,4	266,6	431,2	132,2	33,7	21,9	1,5	9,7	14,5	45,0	30,4
1975	62,1	277,4	285,2	245,5	113,8	28,7	58,2	4,2	0,1	2,0	3,4	23,8
1976	28,6	148,2	235,7	127,4	44,9	7,0	2,9	1,5	8,6	33,9	16,0	14,7
1977	80,7	102,0	207,3	279,0	99,2	31,6	29,7	8,4	3,2	4,5	5,9	47,0
1978	55,5	198,5	140,3	185,1	14,9	86,4	67,3	14	8,8	5,7	17,0	3,5
1979	64,0	138,2	125,7	132,0	66,1	20,7	10,8	5,9	24,9	32,9	36,6	26,9
1980	56,2	219	115,7	46,7	8,4	17,3	7,6	6,1	8,9	13,1	17,6	10,9

4.2.1.3 - Volume evaporado do reservatório durante o mês (V_E)

Pelo fato de não se ter estação climatológica instalada na região do reservatório Engenheiro Arcoverde, tornou-se necessário o uso de dados de evaporação de outra estação que retratasse bem a região em estudo. Os dados de evaporação utilizado foram os do tanque classe A da estação evaporimétrica de Patos, a qual tem características fisiográficas semelhantes á região onde está inserido o reservatório Engenheiro Arcoverde. Os valores da evaporação medida em tanques classe A superam os obtidos em reservatórios devido as diferenças de volume, superfície, localização. Daí a necessidade de se ter um fator de correção (coeficiente do tanque - K_p) que corrija as evaporações medidas no tanque classe A para representar a evaporação no reservatório. O fator que relaciona a evaporação de um reservatório e do tanque classe A oscila entre 0.6 e 0.8 (ABRH-1997). Para a região semi-árida do nordeste Brasileiro um valor conservador para este fator de correção do tanque é 0,75.

O volume evaporado do reservatório no mês, foi calculado multiplicando-se o valor da evaporação corrigida pela área média do espelho d'água que obtivemos a partir da curva Cota-Área (Figura 4.5). Os dados de evaporação observados no posto evaporimétrico de Patos estão expressos na tabela abaixo, já aplicado o fator de correção(K_p).

Tabela 4.3 - Evaporação corrigida (mm) observada em tanque Classe A na estação de Patos

mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Evap	216,8	157,1	127,9	122,3	108,8	143,9	160,5	204,5	225,8	259,7	212,7	222,8

4.2.1.4 - Volume defluente devido as demandas das cidades de Condado, Malta e o Perímetro de Irrigação (V_{DEM}).

As demandas para as cidades de Condado, Malta e o perímetro de irrigação foram obtidas através de visita ao local com os órgãos competentes como: CAGEPA e Departamento de Administração do Perímetro de Irrigação. Estas demandas assumem uma média mensal de 36.000 m³ para os dois municípios e 135.000 m³ para o perímetro irrigado.

4.2.1.5 - Volume afluente ao reservatório durante o mês (V_A)

Por não existir estação fluviométrica na região do reservatório Engenheiro Arcoverde tornou-se necessário a busca de métodos que estimassem estas vazões. Optou-se no presente estudo pela utilização do modelo chuva-vazão Tank-Model.

4.2.1.5.1 - Modelo-Tank Model

O modelo matemático de simulação chuva-vazão Tank Model, proposto por Sugawara (1979), cujos parâmetros são relacionados com características físicas da bacia hidrográfica foi utilizado para determinação das vazões afluentes ao reservatório Engenheiro Arcoverde e conseqüentemente o volume afluente. O mesmo já foi utilizado em diversas aplicações no nordeste do Brasil (Diniz e Góis, 1993; Góis e Suzuki, 1987; Silva, 1993 e ATECEL, 1994) e apresentou bom desempenho na aproximação dos mecanismos físicos gerais que governam os processos hidrológicos.

O princípio fundamental do modelo é bastante simples, onde o sistema hidrológico é representado por um sucessão de tanques fictícios alinhados verticalmente (Figura 4.1) representando os diversos extratos do solo (Figura 4.2) com as respectivas características de retenção e transferência d'água. A simulação da operação destes reservatórios representa uma parte do ciclo hidrológico pelo qual passa uma

determinada precipitação até atingir como escoamento superficial ou subterrâneo, o curso d'água. A abstração de água na bacia ocorre pela evaporação direta da precipitação, pelo escoamento da bacia e pela infiltração profunda, caso ocorra. O escoamento da bacia em seu exutório, é calculado de forma simplificada, dado pelo somatório dos diferentes escoamentos nos diversos extratos do solo a cada evento de precipitação (Figura 4.2). O modelo Tank Model pode operar tanto a nível mensal como a nível diário.

Figuras 4.1 e 4.2 - Esquema para representação da estrutura do modelo Tank Model

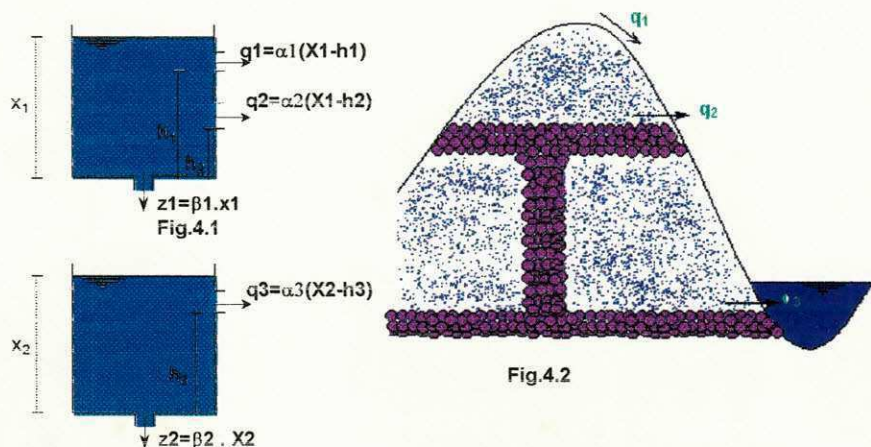


Tabela 4.4 - Precipitação mensal no posto de Condado (mm)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
1973	75,8	45,1	142,5	387,1	118,0	47,6	23,8	12,0	4,8	15,1	2,1	26,1	900,0
1974	213,1	255,4	266,6	431,2	132,2	33,7	21,9	1,5	9,7	14,5	45,0	30,4	1455,2
1975	62,1	277,4	285,2	245,1	113,8	28,7	58,2	4,2	0,1	2,0	3,3	23,8	1103,9
1976	28,6	148,2	235,7	127,4	44,9	7,0	2,9	1,5	8,6	33,9	16,0	14,7	669,4
1977	80,7	102,0	207,3	279,0	99,2	31,6	29,7	8,4	3,2	4,5	5,9	47,0	898,6
1978	55,5	198,5	140,3	185,1	140,9	86,4	67,3	14,0	8,8	5,7	17,0	3,5	922,9
1979	64,0	138,2	125,7	132,0	66,1	20,7	10,8	5,9	24,9	32,9	36,6	26,9	684,6
1980	56,2	219,0	115,7	46,7	8,4	17,3	7,6	6,1	8,9	13,1	17,6	10,9	527,6
1981	81,1	21,6	391,9	41,4	7,3	14,9	7,2	6,1	7,8	7,9	34,4	27,4	649,0
1982	20,8	44,4	84,7	237,7	53,2	13,9	9,9	7,0	8,3	7,6	12,2	17,9	517,5
1983	33,6	99,9	132,4	46,8	14,1	11,1	8,1	9,2	7,8	13,0	4,8	9,5	390,3
1984	33,2	27,8	195,2	279,2	103,0	14,1	19,0	12,3	3,6	9,4	10,7	9,0	716,5
1985	146,2	422,1	257,2	362,4	86,3	118,5	13,9	7,2	6,4	10,9	10,1	84,1	1525,4
1986	116,3	240,6	320,8	206,0	44,3	15,1	15,5	11,9	6,8	7,1	15,5	12,9	1012,9
1987	40,8	98,3	319,6	53,1	11,3	25,3	7,5	5,3	4,3	4,6	5,5	4,2	579,7
1988	41,2	89,2	208,7	347,9	78,2	8,7	16,4	7,0	4,3	4,6	3,9	34,6	844,8
1989	44,9	65,1	151,9	420,2	128,3	45,5	67,6	8,8	4,3	5,2	4,2	107	1053,7
1990	10,1	61,1	10,7	81,4	25,9	48,1	11,7	33,7	8,3	11,4	5,6	75,6	383,6
1991	70,0	88,7	269,9	52,3	93,6	12,5	73,9	11,5	12,4	77,6	34,2	13,1	809,8

Tabela 4.5 - Precipitação mensal no posto de Malta (mm)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
1973	69,8	41,5	131,1	356,2	108,6	43,8	21,9	11,0	4,4	13,9	1,9	24,1	828,2
1974	196,1	235,0	245,3	396,8	121,7	31,0	20,1	1,4	9,0	13,3	41,4	28,0	1339,2
1975	57,1	255,3	262,5	225,6	104,7	26,4	53,5	3,9	0,1	1,9	3,0	21,9	1015,9
1976	26,4	136,4	216,9	117,2	41,3	6,4	2,6	1,4	7,9	31,2	14,8	13,5	616,0
1977	74,3	93,9	190,8	256,8	91,3	29,1	27,3	7,8	2,9	4,1	5,4	43,2	827,0
1978	51,1	182,7	129,1	170,4	129,6	79,5	61,9	12,9	8,1	5,3	15,7	3,2	849,3
1979	58,9	127,2	115,6	121,5	60,8	19,0	10,0	5,4	22,9	30,3	33,7	24,8	630,0
1980	51,7	201,5	106,5	43,0	7,8	16,0	7,0	5,7	8,2	12,0	16,2	10,0	485,5
1981	74,6	19,9	360,7	38,1	6,7	13,7	6,6	5,7	7,2	7,3	31,6	25,2	597,3
1982	19,2	40,8	77,9	218,7	49,0	12,8	9,1	6,4	7,6	7,0	11,2	16,5	476,3
1983	30,9	91,9	121,8	43,0	13,0	10,3	7,5	8,5	7,2	12,0	4,4	8,7	359,2
1984	30,6	25,5	179,6	257,0	94,8	13,0	17,4	11,4	3,3	8,7	9,8	8,2	659,4
1985	134,5	388,5	236,7	333,5	79,4	109	12,8	6,6	5,9	10,1	9,3	77,4	1403,8
1986	107,0	221,4	295,2	189,6	40,7	13,9	14,3	11,0	6,3	6,6	14,3	11,9	932,2
1987	37,5	90,4	294,2	48,8	10,4	23,3	6,9	4,9	3,9	4,3	5,0	3,8	533,5
1988	37,9	82,1	192,1	320,1	72,0	8,0	15,1	6,5	3,9	4,3	3,6	31,8	777,5
1989	41,3	59,9	139,8	386,7	118,1	41,9	62,2	8,1	3,9	4,8	3,8	99,1	969,7
1990	9,3	56,2	9,9	74,9	23,9	44,3	10,8	31,0	7,6	10,5	5,2	69,5	353,1
1991	64,4	81,7	248,3	48,1	86,2	11,5	68,0	10,6	11,4	71,4	31,5	12,1	745,2

Tabela 4.6 - Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Arcoverde (mm)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
1973	78,2	46,5	147,0	399,4	121,8	49,1	24,6	12,4	4,9	15,6	2,2	27,0	928,5
1974	219,9	263,5	275,0	444,9	136,4	34,8	22,6	1,6	10,1	15,0	46,4	31,4	1501,4
1975	64,1	286,2	294,3	252,9	117,4	29,6	60,0	4,4	0,1	2,1	3,4	24,6	1138,9
1976	29,6	152,9	243,2	131,4	46,4	7,2	3,0	1,5	8,9	35,0	16,6	15,2	690,6
1977	83,3	105,2	213,9	287,9	102,4	32,6	30,6	8,7	3,3	4,6	6,1	48,5	927,1
1978	57,3	204,8	144,7	191,0	145,3	89,1	69,4	14,5	9,1	5,9	17,6	3,6	952,2
1979	66,0	142,6	129,7	136,2	68,2	21,4	11,2	6,1	25,7	34,0	37,8	27,8	706,3
1980	58,0	225,9	119,4	48,2	8,7	17,9	7,9	6,4	9,2	13,5	18,2	11,3	544,3
1981	83,7	22,3	404,4	42,7	7,5	15,4	7,4	6,4	8,1	8,2	35,5	28,3	669,6
1982	21,5	45,8	87,4	245,2	54,9	14,3	10,2	7,2	8,6	7,9	12,6	18,5	533,9
1983	34,7	103,1	136,6	48,3	14,6	11,5	8,4	9,5	8,1	13,4	4,9	9,8	402,7
1984	34,3	28,6	201,4	288,1	106,3	14,6	19,6	12,7	3,7	9,7	11,0	9,2	739,2
1985	150,8	435,5	265,4	373,9	89,0	122,3	14,4	7,4	6,6	11,3	10,4	86,8	1573,7
1986	120,0	248,2	330,9	212,6	45,7	15,6	16,0	12,3	7,1	7,4	16,0	13,3	1045,0
1987	42,1	101,4	329,8	54,8	11,7	26,1	7,7	5,5	4,4	4,8	5,7	4,3	598,1
1988	42,5	92,1	215,3	358,9	80,7	9,0	16,9	7,3	4,4	4,8	4,0	35,7	871,6
1989	46,4	67,2	156,7	433,6	132,4	47,0	69,7	9,1	4,4	5,4	4,3	111,1	1087,1
1990	10,5	63,0	11,1	84,0	26,8	49,6	12,1	34,8	8,5	11,8	5,8	78,0	395,8
1991	72,2	91,6	278,4	54,0	96,6	12,9	76,3	11,9	12,8	80,1	35,3	13,5	835,5

Tabela 4.7 - Lâmina escoada gerada pelo modelo Tank Model (mm)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	tot.ano
1.973	10,50	3,90	25,0	100,3	20,7	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	164,8
1.974	40,30	49,50	51,9	125,1	22,8	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,7	295,6
1.975	7,60	54,20	55,9	48,6	19,3	0,3	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	192,6
1.976	0,30	26,20	45,2	21,7	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	98,8
1.977	11,60	16,20	39,0	54,6	17,2	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	144,4
1.978	6,20	37,10	24,5	34,2	24,6	12,8	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	148,1
1.979	8,00	24,10	21,4	22,7	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,1	0,0	88,0
1.980	6,30	41,60	19,2	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,3
1.981	11,70	0,00	102,9	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,1	119,8
1.982	0,00	3,70	12,5	45,6	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,5
1.983	1,40	15,80	22,8	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,3
1.984	1,30	0,10	36,4	54,6	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	110,5
1.985	25,80	118,70	49,9	88,1	14,4	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	329,0
1.986	19,30	46,20	65,4	41,1	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	175,7
1.987	3,00	15,40	64,8	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,2
1.988	3,00	15,70	39,3	79,7	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	152,4
1.989	3,90	10,60	27,0	117,8	22,0	4,0	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	211,6
1.990	0,00	7,60	0,0	11,8	0,0	4,5	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	10,5	35,8
1.991	9,30	16,70	53,1	7,7	14,4	0,0	10,1	0,0	0,0	10,9	1,5	0,0	123,7
média	8,93	16,9	30,3	41,1	30,3	11,4	2,7	0,9	0,4	0,3	0,4	1,4	145,0

4.2.3 - Balanço Hídrico das Culturas

Além do estudo do balanço hídrico do reservatório Engenheiro Arcoverde, faz-se neste trabalho o estudo do balanço hídrico das culturas. O balanço hídrico das culturas serve para estimar, de forma aproximada, as necessidades de irrigação líquidas (N_i) ao longo do ciclo fenológico da cultura. Para cada intervalo de tempo do ciclo da cultura, a necessidade de irrigação dependerá da demanda hídrica da cultura (ET_p) e possíveis dotações ou suprimentos naturais de água ao solo. Para cada intervalo de tempo, a necessidade de irrigação líquida da cultura (N_i) pode ser determinada a partir da equação de balanço hídrico do solo, ou seja :

$$N_i = ET_p - P_e \text{ onde :} \quad (4.2)$$

N_i - Necessidade de irrigação líquida da cultura, em mm/mês ou $m^3/ha/mês$

ET_p - Evapotranspiração da cultura, em mm/mês ou $m^3/ha/mês$

P_e - precipitação efetiva, em mm/mês ou $m^3/ha/mês$

A seguir descrevemos sobre cada uma das variáveis da equação do balanço hídrico das culturas e como as obtivemos.

4.2.3.1 - Evapotranspiração da cultura (ET_p)

É a quantidade de água consumida, em um determinado intervalo de tempo, pela cultura em plena atividade vegetativa, livre de enfermidades. A evapotranspiração da cultura (ET_p) foi calculada neste trabalho mensalmente, a partir da seguinte expressão (Doorenbos e Kassan 1979):

$$ET_p = K_c \cdot ET_o \text{ onde:} \quad (4.3)$$

ET_o - (Evapotranspiração de referência): é a taxa de evapotranspiração de uma superfície de vegetação rasteira verde uniforme, de crescimento ativo, de 8 a 15 cm de altura, que sombrea totalmente o terreno cultivado, em um solo dotado de suficiente quantidade de água. A evaporação medida no tanque evaporimétrico classe A instalado na região normalmente em milímetros por dia se relaciona com a evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) mediante a expressão:

$$ET_o = E_{\text{tanque}} \times K_p \text{ onde:} \quad (4.4)$$

E_{tanque} - é a evaporação do tanque classe A

K_p - coeficiente do tanque referente a superfície cultivada (perímetro de irrigação)

O coeficiente do tanque depende do meio que o circunda e das condições atmosféricas locais. O valor de K_p corrige a evaporação do tanque para a superfície cultivada (perímetro de irrigação). Este estudo foi abordado pela FAO (1979) que expressa o coeficiente do tanque classe A para diferentes coberturas de terreno, diferentes níveis de umidade relativa média do ar e velocidade total do vento em um período de 24 horas. Para o perímetro em estudo o K_p adotado foi 0,75 em função da região ter umidade relativa média do ar de 49% e velocidade do vento de 2,5 m/s.

4.2.3.2 - Coeficiente de Cultivo (K_c)

Em geral, durante o ciclo fenológico, a planta aumenta seu consumo de forma progressiva, até a floração e frutificação, quando começa a diminuir, e logo se estabiliza. O coeficiente de cultivo, para cada tipo de cultura, assume valores distintos segundo a fase de crescimento da cultura. Em geral cada tipo de cultura assume 4 valores de K_c que correspondem mais ou menos aos seguintes períodos de desenvolvimentos das plantas:

Período 1: desde o momento da sementeira até o ponto em que a cultura alcança aproximadamente 15% do seu desenvolvimento.

Período 2 : fase que se inicia no final do período 1 e termina em um ponto imediatamente antes da floração.

Período 3 : fase de floração e frutificação.

Período 4 : fase de maturação (final do ciclo).

Os valores de Kc adotados para o balanço hídrico das culturas neste trabalho foram retirados do livro “Efeito da água no rendimento das culturas-Estudos FAO, Irrigação e Drenagem”(1979).

4.2.3.3 - Precipitação Efetiva

A precipitação efetiva, é sob o ponto de vista agrônômico a fração de chuva que efetivamente permanece à disposição das raízes das plantas, já que uma parte dela escoia sobre a superfície do terreno e outra parte se perde por percolação. Para estimativa da precipitação efetiva foi considerada a abordagem proposta pela FAO (1988), para terrenos com declividade em torno de 5%, que especifica a seguinte equação:

$$Pe = 0,8 P - 25 \text{ se } P \geq 75 \text{ mm ou } Pe = 0,6 P - 10 \text{ se } P < 75 \text{ mm} \quad (4.5)$$

sendo P a precipitação média em mm observada na região em cada um dos períodos para o qual se está calculando o balanço hídrico das culturas. A seguir temos um exemplo de balanço hídrico mensal para irrigação de melancia cujo ciclo vegetativo varia de 80 a 110 dias, considerando a reserva de água no princípio de cada mês desprezível.

Tabela 4.8 - Balanço hídrico da cultura melancia

	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Total
Prec.Média(mm)	97,2	160,3	239	243,9	90,3	830,7
Etanque (mm)	331	368,6	254,9	214,7	222,1	1391,3
coef.tanque	0,75	0,75	0,75	0,75	75	
Eto	248,3	276,5	191,2	161	166,6	1043,6
Kc	0,4	0,7	0,95	0,8	0,65	
ETP(mm)	99,3	193,52	181,62	128,82	108,27	711,53
Prec.Efetiva(mm)	52,77	103,26	166,22	170,08	47,25	539,58
Nec.Irrig.Liq.(mm)	46,53	90,25	15,39	0	61,02	213,19
Nec.Irrig.Liq (m ³ /ha)	460,53	920,25	150,39	0	60,03	1591,2

Figura 4.3 - Volume observado e Volume calculado do reservatório Eng. Arcoverde x Tempo

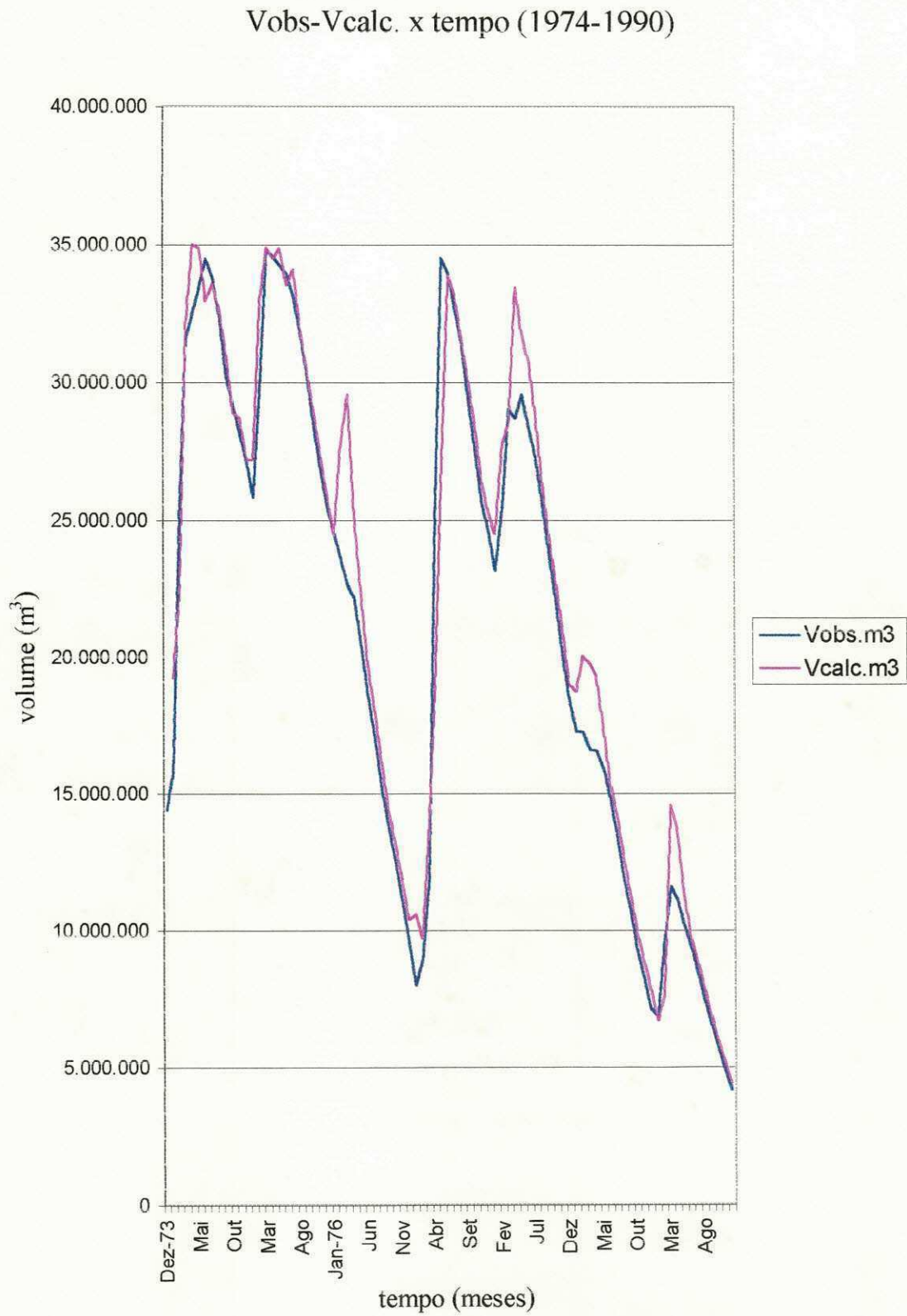


Figura 4.4 - Curva Cota x Volume do reservatório Eng. Arcoverde

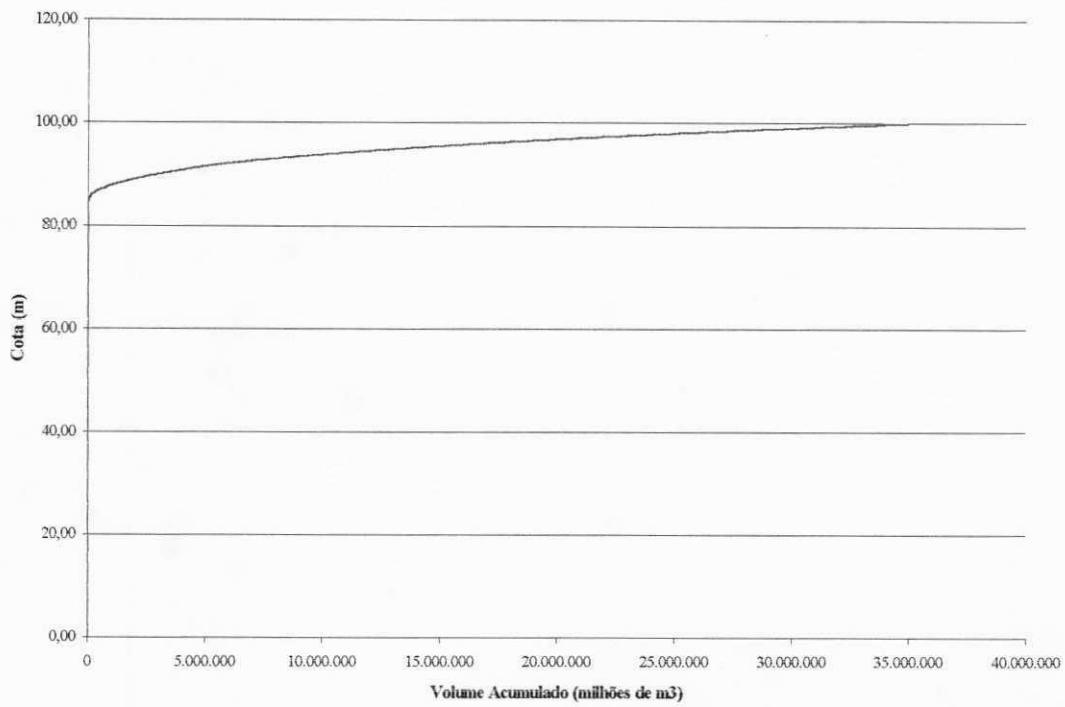
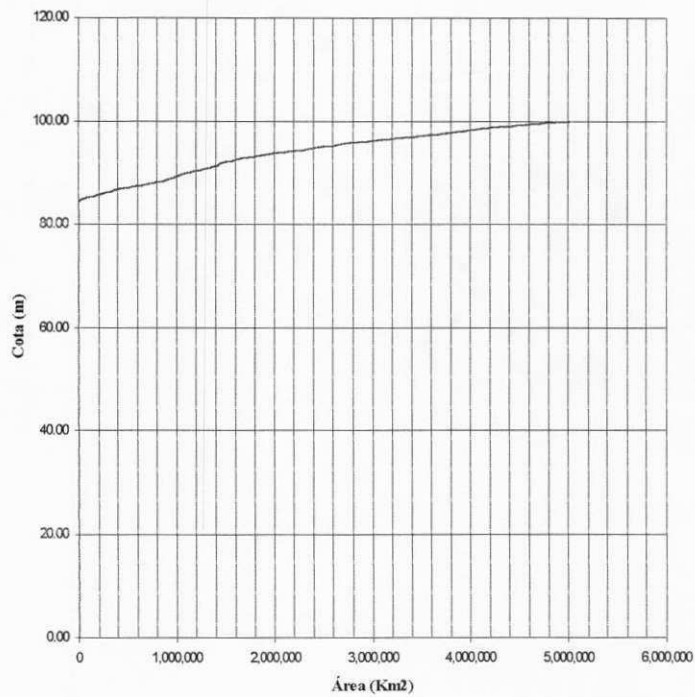


Figura 4.5 - Curva Cota x Área do reservatório Engenheiro Arcoverde

Gráfico Cota x área inundada para o açude Eng. Arcoverde



CAPÍTULO V

O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR RECURSIVA

5.1 – Generalidades

O modelo de simulação e otimização utilizado neste estudo foi desenvolvido por Curi e Curi (1998) e tem como finalidade maior de planejamento, maximizar o lucro de um perímetro irrigado, alimentado por um reservatório e poços, através do uso de programação linear. O modelo simula a operação do reservatório através da equação do balanço hídrico do mesmo usando demandas fixas e variáveis, sendo estas obtidas com base no balanço hídrico das culturas selecionadas, estabelecendo a necessidade suplementar líquida de irrigação para cada cultura. O processo de otimização proposto aqui, leva em consideração possíveis combinações ou variações nas fontes de bombeamento e seus custos, quantidade aduzida de água e custos, diferentes tipos de irrigação e suas necessidades de altura manométricas, e, finalmente, tipos de culturas, suas necessidades hídricas mensais e seus aspectos econômicos. Com isso, este processo procura determinar a extensão das áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura e a vazão aduzida dos poços e do reservatório para irrigação, sendo que, com uma formulação apropriada, permite, ainda, a determinação da lâmina de rega a ser aplicada para cada tipo de cultura via a utilização de um método de programação linear de forma recursiva.

Utilizou-se como ambiente computacional para desenvolver o modelo a ferramenta MATLAB (Matriz Laboratory) que trata de um sistema iterativo no qual o dado elementar básico é uma matriz que não precisa de dimensionamento. Esta ferramenta foi criada pelas Universidades Norte Americanas de Novo México e de Stanford no início da década de 1970 cuja capacidade é de fazer análise numérica, 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.

5.2 – Desenvolvimento do Modelo

A função objetivo do modelo é especificada como a maximização da receita líquida sujeita as restrições de disponibilidade de água, área irrigada e mercado. A receita líquida é a diferença entre a renda bruta total obtida com a venda das produções das culturas e os custos de produção total que envolvem custos de bombeamento, água, sementes, herbicidas, trabalho mecânico, mão de obra e atualização monetária. A *renda bruta anual*, Rb_{jt} em \$/ano/cultura, pode ser dada por:

$$Rb_{jt} = \sum_{k=1}^2 Prod_{jt}(k) * Prc_j * Ac_j(k) \quad (5.1)$$

onde t indica o ano, $t=1, \dots, na$, na é o número de anos em estudo, $Prod_{jt}(k)$ é a produtividade da cultura j no ano t via o sistema k de bombeamento para irrigação em Kg/ha e Prc_j é o preço atual de comercialização da cultura j em R\$/Kg, Ac é a área plantada com a cultura j .

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

$$Cp_{jt} = \sum_{k=1}^2 Cprod_{jt} * Ac_j(k) \quad (5.2)$$

onde $Cprod_{jt}$ é o custo atual de produção da cultura j referentes à gastos relativos ao ano t em R\$/ha.

O *custo anual da água*, Ca_{jt} em R\$/ano/cultura, aduzida pelos poços ou reservatório pode ser obtida por:

$$Ca_{jt} = \sum_{k=1}^2 \sum_{i=12*(t-1)+1}^{12*(t-1)+12*nm} 10 * Pra(k) * Qirr_{ij}(k) * Ac_j(k) \quad (5.3)$$

onde $Pra(k)$ é o preço atual da água em R\$/m³ aduzido pelo reservatório ou poços.

O *custo anual de bombeamento de água*, Cb_{jt} em R\$/ano/cultura, para os cultivos irrigados podem ser dados por:

$$Cb_{jt} = \sum_{k=1}^2 \sum_{i=12*(t-1)+1}^{12*(t-1)+12*nm} \frac{0,02726 * Prb(k) * H_j(k) * Qirr_{ij}(k) * Ac_j(k)}{\eta(k)} \quad (5.4)$$

onde $H_j(k)$ é a altura manométrica média, em metros de coluna de água (mca), para o tipo de irrigação da cultura j pelo sistema k de bombeamento, e $\eta(k)$ é a eficiência do sistema k de bombeamento, $Prb(k)$ é o preço da energia em R\$/Kwh, $Qirr_{ij}(k)$ é a vazão necessária para a cultura j no mês i no sistema k de bombeamento, e $nh(k)$ é o número de horas mensal de trabalho do sistema k de bombeamento. Portanto, a função objetivo

do programa é dada pela maximização da receita líquida total, Rl em R\$, que tem por fórmula:

$$Rl = \sum_{t=1}^{na} \prod_{l=1}^t (1 + d_l) \sum_{j=1}^{nc} \left(\prod_{m=1}^t (1 + dc_{jm}) * Rb_{jt} - Cp_{jt} - Ca_{jt} - Cb_{jt} \right) \quad (5.5)$$

onde $\prod_{l=1}^t (1 + d_l)$ é o fator de atualização monetária referente a taxa de (inflação) desvalorização, d_l , da moeda no ano l e $\prod_{l=1}^t (1 + dc_{jl})$ é o fator de atualização monetária referente a expectativa da taxa de crescimento ou decréscimo nos preços, dc_{jl} , além do nível da inflação, da cultura j no ano l , que pode ser positiva ou negativa.

Vários são os conjuntos de equações que especificam as restrições do problema, dentre eles temos:

$$Amin_j \leq \sum_{k=1}^2 Ac_j(k) \leq Amax_j \quad (5.6)$$

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^{nc} \alpha_{ij} * Ac_j(k) \leq Atot_i \quad (5.7)$$

$$-Ac_j(1) \leq 0 \quad , \quad -Ac_j(2) \leq 0 \quad e \quad -Vext \leq 0 \quad (5.8)$$

$$Vrmin_i \leq Vr_i \leq Vrmax_i \quad (5.9)$$

$$10 * \sum_{j=1}^{nc} Qirr_{ij}(1) * Ac_j(1) \leq Vamax \quad (5.10)$$

$$10 * \sum_{j=1}^{nc} Qirr_{ij}(2) * Ac_j(2) \leq Vpmax(i) \quad (5.11)$$

$$10 * \sum_{j=1}^{nc} Qirr_{ij}(k) * Ac_j(k) \leq \sum_{l=1}^{nb(k)} Vbmax_l(k) \quad , \quad \text{para } k = 1, 2 \quad (5.12)$$

$$10 * \sum_{\{j|0 < H_j(k) < H_{ref}\}} Qirr_{ij}(k) * Ac_j(k) \leq \sum_{\{l|H_b(k) \geq H_{ref}\}} Vbmax_l(k) \quad (5.13)$$

para $k = 1, 2$ e $\sum_j Qirr_{ij}(k) > 0$

$$Vext \leq Vextmax \quad (5.14)$$

onde $Amin_j$ é a área mínima plantada com a cultura j em ha e $Amax_j$ é a área máxima plantada com a cultura j em ha, $Atot_i$ é o limite máximo de área total que pode ser plantada no mês i em ha, $\alpha_{ij} = 1$ se a cultura j é plantada no mês i e $\alpha_{ij} = 0$ se a cultura j não é plantada no mês i , $Vrmax_i$ é o volume máximo admitido para o reservatório no mês i (m^3) e $Vrmin_i$ é o volume mínimo admitido para o reservatório no mês i (m^3), $Vamax$ é a capacidade máxima mensal de vazão do canal ou adutora que liga o

reservatório a área de irrigação ($m^3/mês$), $V_{pmax}(i)$ é a vazão máxima mensal que pode ser retirada do lençol freático em $m^3/mês$, $V_{bmax_l}(k)$ é a capacidade do conjunto instalado de bombas l em $m^3/mês$, $nb(k)$ é o número de conjuntos de bombas do sistema k de bombeamento, $H_{b_l}(k)$ é a capacidade de elevação da água pelo conjunto de bombas l do sistema de bombeamento k (em m), H_{ref} é uma referência variável para comparação entre as alturas requeridas pela cultura e pela capacidade de elevação de água por um conjunto de bombas (sugere-se que varie com $H_{b_l}(k)$ em ordem crescente e é dada em m) e V_{extmax} é o limite máximo da capacidade do extravasor em $m^3/mês$, de acordo com o seu formato.

As Equações de 5.6 a 5.14 se referem, respectivamente, aos limites das áreas máxima e mínimas plantadas de cada cultura; ao limite máximo mensal da área total que pode ser plantada em cada mês; a não negatividade das variáveis; os volumes máximos e mínimos mensais do reservatório; a limitação imposta pela capacidade do canal ou adutora que sai do reservatório para o sistema de irrigação; aos limites impostos pela capacidade máxima de vazão que pode ser aduzida do lençol freático através do sistema de bombeamento dos poços, a capacidade do conjunto instalado de bombas l para o sistema k de bombeamento; ao requerimento de altura manométrica que a cultura j requer para o seu sistema de irrigação no sistema k de bombeamento e, finalmente, ao limite máximo quanto a capacidade de extravasamento do reservatório. A sustentabilidade do sistema é garantida quando o reservatório apresenta o seu volume final igual ou maior que seu o volume inicial.

5.2.1 – Dados de Entrada do Modelo

Neste estudo a operação do modelo foi feito com dados de entrada a nível mensal, na sua configuração o modelo divide-se em três pontos básicos para entrada de dados:

1º) **O RESERVATÓRIO:** aqui o modelo simula mensalmente o comportamento hidrológico do reservatório. Dados de entrada a serem fornecidos:

- 1) **Q_a - Vazão média mensal afluyente ao reservatório ($m^3/mês$)**
- 2) **Q_d - Vazão média mensal defluente do reservatório ($m^3/mês$)**
- 3) **P_r - Precipitação média mensal na área do reservatório ($mm/mês$)**
- 4) **E_{vt} - Evaporação média mensal do tanque na área do reservatório ($mm/mês$)**
- 5) **K_t - Coeficiente de evaporação do tanque (adimensional)**
- 6) **V_i - Volume inicial do reservatório no processo iterativo (m^3)**

- 7) V_{max} - Volume mensais máximos do reservatório (m^3)
- 8) V_{min} - Volume mensais mínimos do reservatório (m^3)
- 9) Q_{mxs} - Vazão extravasada máxima permitida pelo extravasor do reservatório (m^3/s)
- 10) A_e - Área inicial da superfície líquida do reservatório em cada mês (m^2)
- 11) Coeficientes km e mm da relação área x volume do reservatório: $Ar(i)=km \times Vr(i)^{mm}$
- 12) $Q_{mxcanal}$ - máxima vazão que o canal pode transportar

2º) OS POÇOS: com finalidade de reforço hídrico para irrigação, foram instalados poços rasos no perímetro irrigado, o modelo opera estes poços com os seguintes dados de entrada:

- 1) N_{sb} - número de sistemas de bombeamento de poços
- 2) N_b - número de bombas para cada sistema de bombeamento
- 3) N_{hb} - número de horas diárias de bombeamento da água dos poços
- 4) Q_b - capacidade de bombeamento média (em litros/s)
- 5) H_{man} - altura de recalque mais sucção (m)
- 6) η - Rendimento do sistema moto-bomba de irrigação
- 7) P_{kwh} - Preço médio do Kwh para aduzir água dos poços p/ cada sistema (RS/m^3)
- 8) H_s - Altura média de elevação da água dos poços até nível do solo pela bomba (m)
- 9) P_{ra} - Preço médio do m^3 de água aduzido dos poços para o sistema de irrigação (RS/m^3)
- 10) Q_{mxea} - Capacidade máxima que o lençol freático permite aduzir dos poços ($m^3/mês$)

3º) PERÍMETRO: aqui o modelo simula a necessidade suplementar líquida de irrigação para cada cultura com base na equação do balanço hídrico do solo, alocando a área de cultivo para cada cultura de forma que se maximize o retorno financeiro líquido do perímetro.

- 1) N_c - Número de culturas fixadas para simulação
- 2) N_a - número de anos fixados para a simulação
- 3) $Prod$ - Produção de cada cultura por ano (Kg/ha)
- 4) Prv - Preço de venda da cultura (RS/Kg)

- 5) C_{pro} - Custo médio de produção da cultura (R\$/ha)
- 6) i - taxa anual de desvalorização da moeda
- 7) A_{tot} - Área total mensal a ser plantada em cada mês (ha)
- 8) A_{gmax} - Área máxima mensal que pode ser irrigada por gravidade (ha)
- 9) A_{max} - Área máxima plantada de cada cultura (ha)
- 10) A_{min} - Área mínima plantada de cada cultura (ha)
- 11) K_c - Coeficiente de cultivo das culturas de acordo com seu ciclo fenológico
- 12) P - Precipitação média mensal na área irrigável (mm)
- 13) E_{vt} - Evaporação média mensal medida no tanque de evaporação classe A na área irrigável em cada mês i (mm)
- 14) K_t - Coeficiente do tanque
- 15) E_{apl} - Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por cultura
- 16) E_{sis} - Valor percentual da eficiência do sistema de distribuição (canais e tubulações) para irrigação por cultura
- 17) H_c - Pressão requerida pelo sistema de irrigação da cultura (mca)

5.2.2) Configuração do modelo

A seguir, na Figura 5.1 representamos o layout do sistema constituído pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, poços e perímetro irrigado de Condado. Na Figura 5.2 é mostrado o fluxograma geral com todos os dados necessários á alimentação do modelo de otimização do sistema em estudo.

Figura 5.1 – Layout representativo do sistema em estudo.

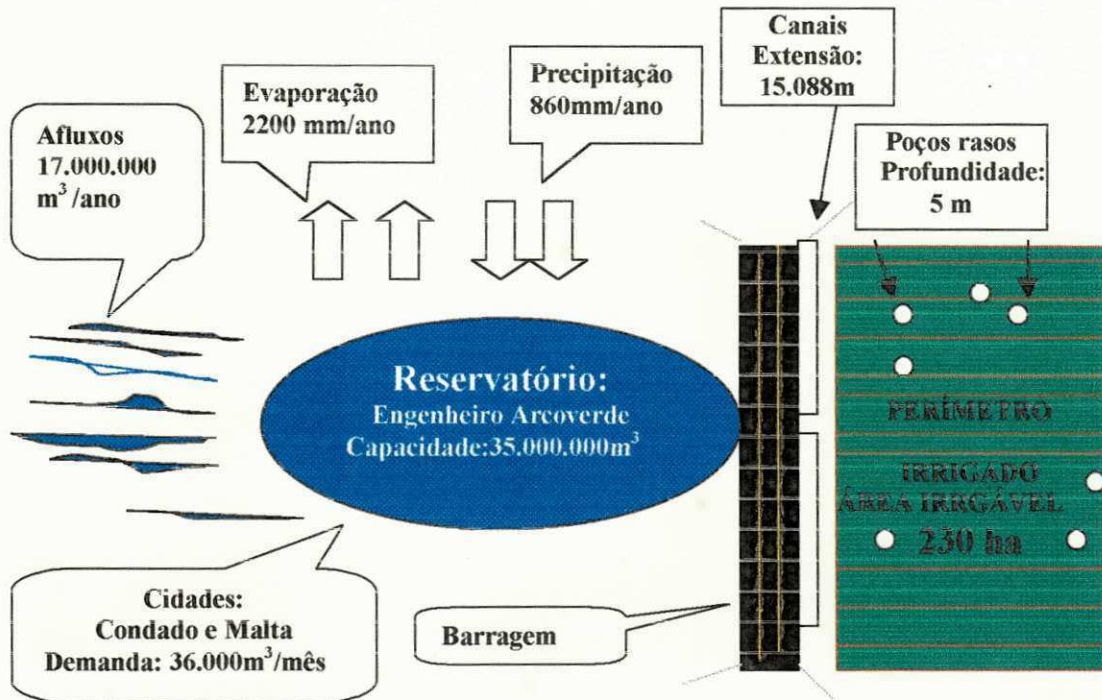
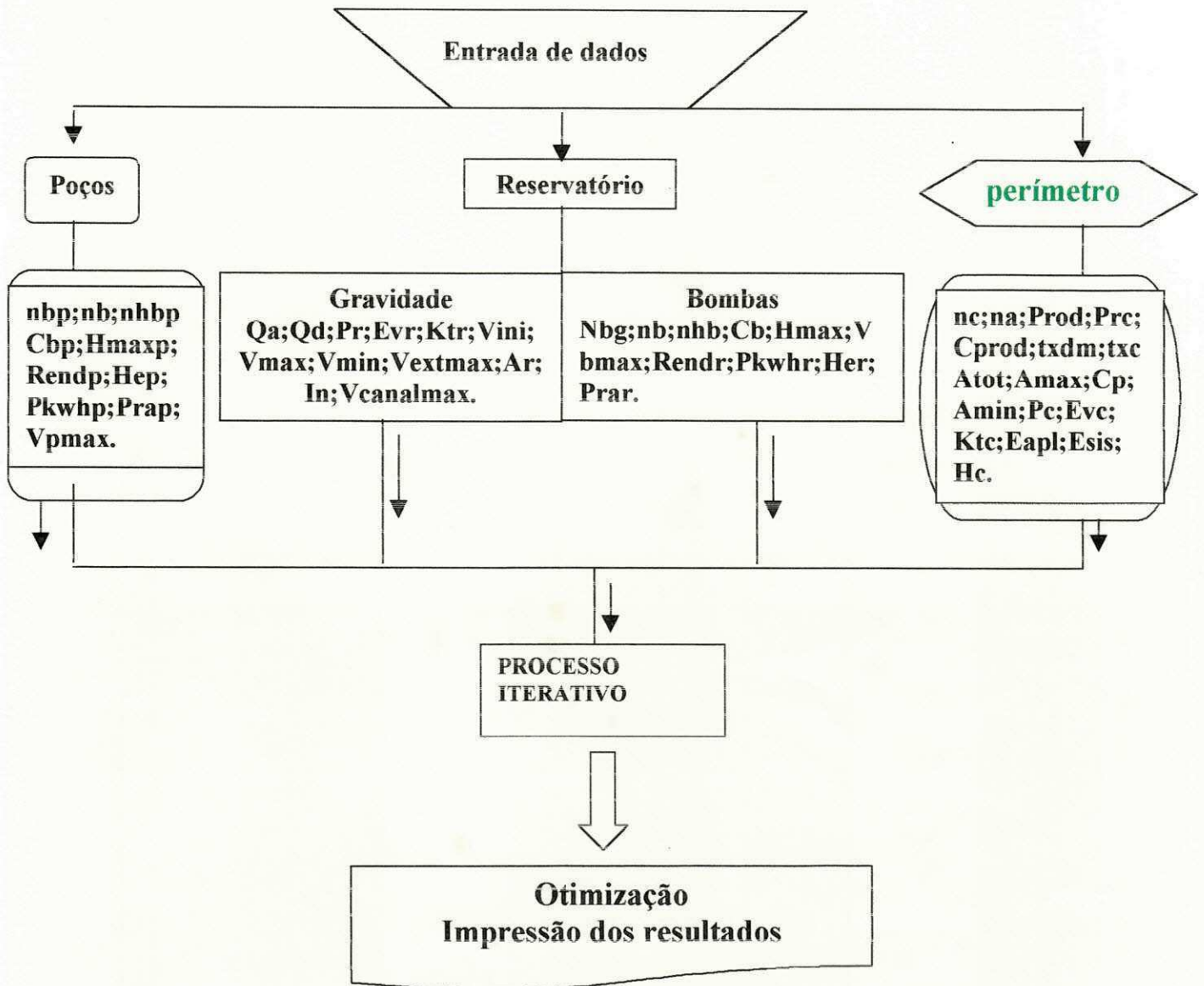


Figura 5.2 – Fluxograma representativo dos dados de entrada



CAPÍTULO VI

SITUAÇÕES DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 - Generalidades

As simulações realizadas com o uso do Modelo de Programação Linear Recursiva tem como objetivo a maximização da receita líquida do perímetro Irrigado de Condado, o qual é alimentado pelo reservatório Engenheiro Arcoverde e poços amazonas implantados no perímetro. O modelo fornece, também, a cada mês, a área necessária a ser plantada de cada cultura, o volume de água aduzido do reservatório e dos poços para a irrigação, a necessidade líquida de irrigação de cada cultura, a área da bacia hidráulica do reservatório e o volume do reservatório. A cada tipo de cultura esta associada a necessidade líquida e os custos culturais que variam se a cultura for temporária ou permanente, ao período de plantação, que pode ser safra ou entresafra gerando diferentes lucratividades, ao sistema de irrigação, que pode aumentar os custos ou reduzir o consumo de água, e a fonte de adução que, sendo através de recalque associa os gastos com energia. Foram criadas para este estudo três situações de simulação e observado o comportamento destas em quatro períodos de ocorrência. Além disso, criou-se uma situação no modelo que representasse a realidade do perímetro irrigado nos anos de 1996 e 1997, na intenção de comparar os resultados obtidos pelo modelo de otimização com valores reais do perímetro. Abaixo descrevemos as situações de simulação criadas e os períodos de ocorrência.

Primeira Situação: o perímetro é alimentado pelo reservatório e todos os poços existentes na área. (72 poços)

Segunda Situação: o perímetro é alimentado somente pelo reservatório.

Terceira Situação: o perímetro é alimentado somente pelos poços amazonas.

Neste estudo, utilizou-se no modelo dados mensais de precipitações, vazões afluentes, vazões defluentes, etc, e adotou-se como período de estudo a série de 1973-1991 (19 anos). Utilizando dados de precipitação de 1973-1991, criou-se 19 séries de cinco anos seqüenciais (séries móveis) e retirou-se a série de cinco anos com maior média anual de precipitação, menor média anual de precipitação e a série de cinco anos

com média anual de precipitação que mais se aproximou da média anual do período de 1973-1991 (Tabela 6.1), caracterizando assim para efeitos de estudo os seguintes **períodos de ocorrência**:

ciclo chuvoso - série de cinco anos consecutivos com maior média anual de precipitação.

ciclo seco - série de cinco anos consecutivos com menor média anual de precipitação.

ciclo normal - série de cinco anos consecutivos com média anual de precipitação mais próxima do período de 1973-1991.

ciclo médio - média anual de período de 1973-1991.

Tabela 6.1 – Precipitações médias mensais (P_{méd}) em mm que caracterizam os períodos de ocorrência acima descritos.

média pluviométrica (82-86) que caracteriza ciclo normal												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
P _{méd} (mm)	70,02	166,96	198,06	226,42	60,18	34,54	13,28	9,52	6,58	9,6	10,66	26,9
média pluviométrica (79-83) que caracteriza ciclo seco												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
P _{méd} (mm)	51,1	104,6	170,1	100,9	29,8	15,6	8,7	6,9	11,5	15	21,1	18,5
média pluviométrica (74-78) que caracteriza ciclo chuvoso												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
P _{méd} (mm)	88	196,3	227	253,6	106,2	37,5	36	5,9	6,1	12	17,4	23,9
média pluviométrica (73-91) que caracteriza ciclo médio												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
P _{méd} (mm)	67,1	139,1	203,3	208,5	72,1	31,6	24,9	9,1	7,5	15	15	30,5

6.2 – Análises para as situações de simulação

Com relação as várias situações de simulação foram efetuadas as seguintes análises:

- Variação do retorno líquido e áreas cultivadas em relação a disponibilidade hídrica, ou seja, foi observado o retorno líquido e quantidade de áreas irrigadas em situações de maior e menor reserva hídrica.
- Variação do retorno líquido devido ao uso de médias mensais e valores mensais, ou seja, comparou-se situações de simulação utilizando os dados de entrada com valores médios e dados de entrada com valores mensais.
- Variação do retorno líquido devido a manutenção de áreas para as culturas permanentes, ou seja, foi imposto ao modelo na primeira situação utilizando o ciclo

médio, a condição de irrigação de toda área da cultura goiaba, e observou-se como se comportava o retorno líquido em relação a outra situação nas mesmas condições, só que, sem a imposição de irrigação de área total para a cultura goiaba.

d) O comportamento do volume do reservatório para as situações simuladas através de gráficos.

e) O volume aduzido do reservatório e dos poços através de tabelas e gráficos.

f) O volume inicial ideal de operação do reservatório, utilizando o ciclo normal na primeira situação.

g) Sensibilidade de parâmetros, ou seja, variou-se alguns parâmetros do modelo, como preço da energia, água, custo de produção e preço unitário de venda das culturas para observar a variação do retorno líquido.

6.3 - Considerações para as situações de simulação

a) Sustentabilidade hídrica do reservatório – para todas as situações de simulação foi condicionado que o volume no final do último mês de simulação teria que ser maior ou igual ao volume do início da simulação, garantindo assim a sustentabilidade hídrica.

b) A irrigação das culturas no processo de simulação será feita para um período de 5 anos e é assumido que a irrigação inicia-se no mês de janeiro.

c) Será considerado um volume mínimo para o reservatório que não poderá ser utilizado na irrigação como medida de garantia para períodos de estiagem, já que o reservatório também abastece os municípios de Condado e Malta.

6.4 – Dados de entrada para as situações de simulação

6.4.1 - Primeira Situação: nesta situação, onde o perímetro é alimentado pelo reservatório e poços amazonas o modelo simulou e maximizou a função objetivo para os ciclos médio, normal, seco e chuvoso. Inseriu-se no modelo um padrão de culturas similar aos já existentes no perímetro em estudo. O modelo trabalhou com lâmina de rega fixa, área irrigada variável e buscou alocar a área de cada cultura que maximizasse a função objetivo a qual visa o maior retorno financeiro líquido. Para o início do processo de simulação e otimização, é necessário os dados de entrada do reservatório, dos poços e das culturas adotadas, conforme descreveremos abaixo fazendo um breve comentário sobre cada variável.

6.4.1.1 - Ciclo Médio (73-91) - dados de entrada para o reservatório

a) **Qa - Vazão média mensal afluyente ao reservatório ($m^3/mês$)** - estes dados tiveram origem com base nas lâminas escoadas na bacia de drenagem do açude Eng. Arcoverde no período 1973-1991 conforme descrevemos no Capítulo IV (Tabela 6.2).

b) **Qd - Vazão média mensal defluente do reservatório ($m^3/mês$)** - esta variável refere-se a vazão média que sai do reservatório para suprir as demandas dos municípios de Condado e Malta, conforme descrito no Capítulo IV. O valor utilizado para todas as situações de simulação foi **36.000 $m^3/mês$** .

c) **Pr - Precipitação média mensal na área do reservatório (mm/mês)** - obtida a partir dos dados de precipitação do posto pluviométrico de Condado, os quais passaram pelo processo de homogeneização, conforme descrito no Capítulo IV (Tabela 6.2).

d) **Evr - Evaporação média mensal do tanque na área do reservatório (mm/mês)** - o modelo utiliza a evaporação medida no tanque classe A conforme descrito no Capítulo IV (Tabela 6.2).

e) **Kt - Coeficiente de evaporação do tanque** - é um fator que relaciona a lâmina evaporada no tanque classe A com o volume perdido no açude por evaporação. Foi adotado para todas as situações simuladas o valor **0,75**.

f) **Vi - Volume inicial do reservatório no processo iterativo (m^3)** - o volume inicial no reservatório para as simulações é assumido como **17.000.000 m^3** .

g) **Vmax - Volume mensais máximos do reservatório (m^3)** - é a capacidade máxima mensal de armazenamento do reservatório. Neste estudo adotou-se a capacidade de **35.000.000 m^3** com base em dados técnicos fornecidos pelo DNOCS.

h) **Vmin - Volume mensais mínimos do reservatório (m^3)** - deve-se adotar um volume mínimo por garantia de reserva, tendo em vista que o reservatório também abastece dois municípios. Para este estudo adotamos **10.000.000 m^3** que visa atender 2 anos consecutivos de abastecimento.

i) **Qmxs - Vazão extravasada máxima permitida pelo extravasador do reservatório (m^3/s)** - a máxima vazão que o extravasador ou sangradouro do açude comporta, é de **3 m^3/s** .

j) **Ar - Área inicial da superfície líquida do reservatório em cada mês (m^2)** - é a área da bacia hidráulica no início de cada mês, obtida através da curva cota-área-volume do reservatório que apresentamos no Capítulo IV.

k) Coeficientes da relação área x volume do reservatório: $Ar(i)=km \times Vr(i)^{mm}$ - no seu processo iterativo o modelo determina a área do espelho d'água do reservatório em cada mês utilizando a função descrita acima. Os coeficientes desta função foram determinados através do Programa Ajuste (Silva e Silva), que ajusta os pontos de funções lineares, linearizáveis e não lineares. Os valores obtidos foram **km=83,6** e **mm=0,637**. De posse dos coeficientes o modelo atualiza as áreas médias do espelho d'água do reservatório a partir de uma área média inicial obtida através da curva cota-área do reservatório, conforme especificado no item anterior.

l) $Q_{mxcanal}$ – Máxima vazão que o canal pode transportar – este dado foi obtido com a administração do perímetro irrigado, e, de acordo com as características técnicas dos canal, o mesmo permite um vazão de até **0,6 m³/s**.

Tabela 6.2 - Valores dos dados de entrada para o reservatório.

Meses	Qa (m ³ /mês)	Pr(mm/mês)	Evr(mm/mês)	Ar(m ²)
Jan	1.106.211	67,1	289,1	2.706.200
Fev	3.284.695	139,1	209,4	2.739.700
Mar	4.935.200	203,3	170,6	2.976.000
Abr	5.701.389	208,5	163,0	3.308.800
Mai	1.359.432	72,1	145,1	3.526.600
Jun	314.568	31,6	191,8	3.533.600
Jul	227.116	24,9	214,3	3.435.400
Ago	9.137	9,1	272,6	3.296.500
Set	0	7,5	301,1	3.141.300
Out	89.411	14,8	346,2	2.978.900
Nov	59.389	15,0	283,6	2.815.500
Dez	306.737	30	297,1	2.966.300

6.4.1.2 - Ciclo Médio (73-91) - dados de entrada para os poços - no perímetro irrigado existem 72 poços amazonas utilizando variados tipos de bombas que descreveremos mais detalhadamente a seguir.

a) N_{sb} - Número de sistemas de bombas usados nos poços – cada sistema é representado pelo tipo de potência da bomba. Foi adotado **4 sistemas** de bombas com base em dados reais fornecidos pela administração do perímetro irrigado, pois, nos poços estão instaladas bombas de 7,5 CV, 10 CV, 12,5 CV e 15 CV.

b) Nb - Número de bombas em cada tipo de sistema de bombas - segundo a administração do perímetro irrigado tem-se:

b.1) 20 bombas de 7,5 CV

b.2) 20 bombas de 10 CV

b.3) 20 bombas de 12,5 CV

b.4) 12 bombas de 15 CV

c) Nhb - Número de horas diárias de bombeamento - as bombas dos poços trabalham em média 8 horas por dia.

d) Qb - Capacidade de bombeamento média (l/s) - as bombas trabalham com as seguintes vazões:

d.1) bombas de 7,5 CV - vazão de 4,16 l/s

d.2) bombas de 10 CV - vazão de 5,56 l/s

d.3) bombas de 12,5 CV - vazão de 6,94 l/s

d.4) bombas de 15 CV - vazão de 8,33 l/s

e) Hman - Altura de recalque mais sucção - esta variável depende do tipo de bomba utilizada, pois esta relacionada diretamente com sua potência.

e.1) bombas de 7,5 CV - altura máxima de 65 m

e.2) bombas de 10 CV - altura máxima de 83 m

e.3) bombas de 12,5 CV - altura máxima de 94 m

e.4) bombas de 15 CV - altura máxima de 107 m

f) η - Rendimento do sistema moto-bomba de irrigação - foi adotado para o sistema de bombas implantado um rendimento de 70%.

g) Pkwh - Preço médio do Kwh para aduzir água dos poços p/ cada sistema (RS/KWH) - com base em dados da administração do perímetro estabeleceu-se um custo de 0,07 RS/Kwh.

h) Hs - Altura dinâmica de sucção (m) - os poços instalados no perímetro tem uma altura média de recalque de 5 m até o nível do solo.

i) Pra - Preço médio do m³ de água aduzido dos poços para o sistema de irrigação (RS/m³) - no perímetro em estudo a água dos poços não tem custo para os irrigantes, por isso adotou-se valor zero no modelo.

j) Qmxea - Vazão máxima de exploração do aquífero (m³/mês) - de acordo com estudos levantados pela ATECEL (Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior) o aquífero tem capacidade de exploração de 200.000 m³/mês.

6.4.1.3 - Ciclo Médio (73-91) - Dados de entrada para as culturas implantadas no modelo

Para seleção do tipo de culturas estabelecidas no modelo tomou-se por base as culturas já irrigadas no perímetro de Condado e suas respectivas áreas de plantação. Estas culturas foram alocadas durante o ano levando-se em consideração períodos de safra e entresafra. A seguir mostramos um esquema do plano cultural anual.

Tabela 6.3 – Plano cultural anual

Culturas	meses											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
banana	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
tomate		x	x	x	x			x	x	x	x	
goiaba	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
melancia		x	x	x				x	x	x		
melão		x	x	x				x	x	x		
feijão		x	x	x				x	x	x		
milho		x	x	x	x			x	x	x	x	
algodão		x	x	x	x			x	x	x	x	
arroz		x	x	x				x	x	x		

Obs: As culturas de banana e goiaba são irrigadas durante todo o ano, as demais são irrigadas no período de safra (primeiros meses do ano) e períodos de entresafra (últimos meses do ano).

a) Nc - Número de culturas fixadas para simulação - na realidade temos 9 tipos diferentes de culturas, porém se uma cultura é plantada duas ou mais vezes durante o ano, considera-se cada uma delas independente da outra, ou seja, é contada como se fosse outro tipo de cultura, pois fornece um retorno financeiro diferente. Logo, de acordo com o esquema descrito acima, teremos como dado de entrada para o modelo o número de culturas sendo 16.

b) Na - Número de anos fixados para a simulação - o modelo simulou para 5 anos

c) Prod - Produtividade de cada cultura por ano (Kg/ha)

Tabela 6.4 - Produção das culturas em Kg/ha para o período considerado.

Culturas	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Banana	0	50.000	60.000	60.000	60.000
Tomate	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
Goiaba	0	7.000	15.000	20.000	20.000
Melancia	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Melão	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Feijão	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Milho	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Algodão	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Arroz	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fonte: DIRGA (Diretoria de Irrigação do DNOCS)-1997

d) Prv - Preço médio unitário da cultura (Kg/ha) - adotamos os seguintes preços com base em dados fornecidos pelo DIRGA (Diretoria de Irrigação do DNOCS)

- 1) 0,32 R\$/Kg - banana nanicão
- 2) 0,25 R\$/Kg - tomate (safra)
- 3) 0,35 R\$/Kg - tomate (entresafra)
- 4) 0,27 R\$/Kg - goiaba
- 5) 0,20 R\$/Kg - melancia (safra)
- 6) 0,28 R\$/Kg - melancia(entresafra)
- 7) 0,50 R\$/Kg - melão japonês(safra)
- 8) 0,50 R\$/Kg - melão japonês(entresafra)
- 9) 0,95 R\$/Kg - feijão (safra)
- 10) 1,33R\$/Kg - feijão(entresafra)
- 11) 0,24 R\$/Kg - milho(safra)
- 12) 0,34 R\$/Kg - milho (entresafra)
- 13) 0,57 R\$/Kg - algodão(safra)
- 14) 0,78 R\$/Kg - algodão(entresafra)
- 15) 0,33 R\$/Kg - arroz (safra)
- 16) 0,46 R\$/Kg - arroz (entresafra)

e) Cpro - Custo médio de produção da cultura (R\$/ha)

Tabela 6.5 - Custo para produção de cada cultura em R\$/ha para o período considerado

Culturas	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Banana	4589,26	3816,16	3890,31	3890,31	3890,31
Tomate	2656,58	2656,58	2656,58	2656,58	2656,58
Goiaba	1998,47	1293,14	1359,94	1420,11	1412,02
Melancia	1676,03	1676,03	1676,03	1676,03	1676,03
Melão	1848,96	1848,96	1848,96	1848,96	1848,96
Feijão	642,87	642,87	642,87	642,87	642,87
Milho	842,72	842,72	842,72	842,72	842,72
Algodão	982,49	982,49	982,49	982,49	982,49
Arroz	977,12	977,12	977,12	977,12	977,12

Fonte: DIRGA (Diretoria de Irrigação do DNOCS)-1997

Obs: os custos tabelados acima não incluem água e energia, pois são tratados separadamente no problema.

f) i - taxa anual de desvalorização da moeda - não foi considerado inflação neste estudo, logo assumimos valor zero para variável.

g) Atot - Área total mensal a ser plantada (ha) em cada mês - área total adotada para irrigação foi de **230 ha**.

h) Agmax - Área máxima mensal que pode ser irrigada por gravidade (ha) - neste estudo toda área pode ser irrigada por gravidade, logo adotamos para o modelo **230 ha**.

i) Amax - Área máxima plantada de cada cultura (ha) - com base nos dados do próprio perímetro foram adotadas as seguintes áreas máximas para as culturas selecionadas:

- 1) 30 ha - banana nanicão
- 2) 30 ha - tomate (safra)
- 3) 30 ha - tomate (entresafra)
- 4) 20 ha - goiaba
- 5) 20 ha - melancia (safra)
- 6) 20 ha - melancia (entresafra)
- 7) 20 ha - melão japonês (safra)
- 8) 20 ha - melão japonês (entresafra)
- 9) 40 ha - feijão (safra)
- 10) 40 ha - feijão (entresafra)
- 11) 30 ha - milho (safra)

- 12) 30 ha - milho (entresafra)
- 13) 20 ha - algodão (safra)
- 14) 20 ha - algodão (entresafra)
- 15) 20 ha - arroz (safra)
- 16) 20 ha - arroz (entresafra)

j) Amin - Área mínima plantada de cada cultura (ha) - o modelo na sua formulação permite fixarmos uma área mínima para cada cultura e fará o processo de simulação considerando que as áreas mínimas fixadas serão irrigadas.

k) Kc - Coeficiente de cultivo das culturas de acordo com seu ciclo fenológico - o modelo simula o balanço hídrico das culturas, por isso temos que estabelecer os coeficientes de cultivo para cada cultura, de acordo com seu estágio de desenvolvimento. Na tabela abaixo está representado as culturas implantadas no modelo com o seu respectivo coeficiente de cultivo durante o primeiro ano do seu ciclo vegetativo.

Tabela 6.6 - Coeficiente de cultivo das culturas

Culturas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Banana	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Tomate		0,5	0,75	1,15	0,8			0,45	0,75	1,15	0,8	
Goiaba	0,45	0,45	0,45	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Melão		0,7	1	0,75				0,7	1	0,75		
Melancia		0,7	1	0,75				0,7	1	0,75		
Feijão		0,7	1,1	0,9				0,7	1,1	0,9		
Milho		0,4	0,8	1,15				0,4	0,8	1,15		
Algodão		0,5	0,75	1,15	0,75			0,5	0,75	1,15	0,75	
Arroz		1,1	1,1	1,1	0,95			1,1	1,1	1,1	0,95	

Fonte: Doorenbos - 1994

m) Pc - Precipitação média mensal na área irrigável (mm/mês) - Adotamos para este estudo a mesma precipitação da área do reservatório.

n) Evc - Evaporação média mensal medida no tanque de evaporação classe A na área irrigável em cada mês i (mm/mês) - Para este estudo foi adotada a mesma evaporação medida na área do reservatório com o mesmo coeficiente de tanque.

o) Eapl - Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por cultura - de acordo com o sistema de irrigação adotado para a cultura é que se identifica sua eficiência. Por exemplo, a irrigação por gotejamento tem eficiência em torno de 95%, a irrigação por aspersão tem eficiência em torno de 75%, a irrigação por sulco tem

eficiência em torno de 50%. A seguir descrevemos as culturas selecionadas para o modelo e o sistema de irrigação adotado para cada uma delas.

Tabela 6.7 - Sistema de irrigação para as culturas e suas eficiências

Culturas	Sist. irrigação	Eapl (%)	Hc (mca)
1) banana nanicão	gotejamento	95	30
2) tomate	sulco	50	0
3) goiaba	gotejamento	95	30
4) melancia	sulco	50	0
5) melão japonês	sulco	50	0
6) feijão	aspersão	75	50
7) milho	aspersão	75	50
8) algodão	aspersão	75	50
9) arroz.	sulco	75	50

Fonte: Gomes - 1994

p) Esis - Valor percentual da eficiência do sistema de distribuição (canais e tubulações) para irrigação por cultura - como o sistema de distribuição de água do reservatório Engenheiro Arcoverde é através de tubulações e canais, fixamos uma eficiência de **70%** para o sistema.

q) Hc - Pressão requerida pelo sistema de irrigação da cultura (mca) - de acordo com o sistema de irrigação adotado, pode haver necessidade de pressão nas tubulações para que o sistema de irrigação utilizado em determinada cultura funcione adequadamente, logo, o modelo necessita que se registre esta pressão em mca. Como a região em estudo é dotada de relêvo plano, adotou-se os seguintes valores de entrada de acordo com o tipo de irrigação utilizada:

Aspersão - 50 mca

Gotejamento - 30 mca

Sulco ou gravidade - 0 mca

Fonte: Gomes - 1994

6.4.1.4) - Ciclo Normal (82-86) - dados de entrada para o reservatório – como a diferença entre os ciclos no que se refere aos dados de entrada está na precipitação e vazão afluente, mostraremos para os demais ciclos somente estes dados, já que os dados de entrada restantes são iguais aos do ciclo médio.

Tabela 6.8 - Dados de entrada para o reservatório no período ciclo normal

Q afluyente (1000m ³ /mês)						Precipitação(mm/mês)					
Mês	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano	Mês	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Janeiro	0,0	174	161	3199	2393	Janeiro	21,5	34,7	34,3	151	120
Fevereiro	459	1959	12	14719	5729	Fevereiro	45,8	103	28,6	436	248
Março	1550	2827	4514	6188	8110	Março	87,4	137	201	265	331
Abril	4654	533	6770	10924	5096	Abril	245	48,3	288	374	213
Maio	707	0	2244	1786	459	Maio	54,9	14,6	106	89	45,7
Junho	0	0	0	2455	0	Junho	14,3	11,4	14,6	122	15,6
Julho	0	0	0	0	0	Julho	10,2	8,4	19,6	14,4	16
Agosto	0	0	0	0	0	Agosto	7,2	9,5	12,7	7,4	12,3
Setembro	0	0	0	0	0	Setembro	8,6	8,1	3,7	6,6	7,1
Outubro	0	0	0	0	0	Outubro	7,9	13,4	9,7	11,3	7,4
Novembro	0	0	0	0	0	Novembro	12,6	4,9	11	10,4	16
Dezembro	0	0	0	1525	0	Dezembro	18,5	9,8	9,2	86,8	13,3

6.4.1.5 - Ciclo Normal (82-86) - dados de entrada dos poços - iguais aos do ciclo médio.

6.4.1.6 - Ciclo Normal (82-86)- dados de entrada para as culturas implantadas no modelo - iguais ao do ciclo médio.

6.4.1.7 - Ciclo Seco (79-83)- dados de entrada para o reservatório - São os mesmos do ciclo médio, com exceção da Tabela 6.9.

6.4.1 8 - Ciclo Seco (79-83)- dados de entrada para os poços - iguais aos do ciclo médio.

6.4.1.9 - Ciclo Seco (79-83)- dados de entrada para as culturas implantadas no modelo - iguais aos do ciclo médio.

Tabela. 6.9 - Dados de entrada para o reservatório no período ciclo seco

Q afluente (1000m ³ /mês)						Precipitação(mm/mês)					
Mês	1 ano	2 ano	3 ano	4 ano	5 ano	Mês	1 ano	2 ano	3 ano	4 ano	5 ano
Janeiro	992	781	1451	0	174	Janeiro	66	58	83,7	21,5	34,7
Fevereiro	2988	5158	0	459	1959	Fevereiro	143	226	22,3	45,8	103
Março	2654	2381	12760	1550	2827	Março	130	119	444	87,4	137
Abril	2815	521	434	5654	533	Abril	136	48,2	42,7	245	48,3
Maio	1042	0	0	707	0	Maio	68,2	8,7	7,5	54,9	14,6
Junho	0	0	0	0	0	Junho	21,4	17,9	15,4	14,3	11,4
Julho	0	0	0	0	0	Julho	11,2	7,9	7,4	10,2	8,4
Agosto	0	0	0	0	0	Agosto	6,1	6,4	6,4	7,2	9,5
Setembro	0	0	0	0	0	Setembro	25,7	9,2	8,1	8,6	8,1
Outubro	161	0	0	0	0	Outubro	34	13,5	8,2	7,9	13,4
Novembro	260	0	198	0	0	Novembro	37,8	18,2	35,5	12,6	4,9
Dezembro	0	0	12	0	0	Dezembro	27,8	11,3	28,3	18,5	9,8

6.4.1.10 - Ciclo Chuvoso (74-78)- dados de entrada para o reservatório - os valores de entrada para o reservatório no período ciclo chuvoso são os mesmos do ciclo médio, com exceção dos dados da Tabela 6.10

Tabela 6.10 - Dados de entrada para o reservatório no período ciclo chuvoso

Q afluente (1000m ³ /mês)						Precipitação(mm/mês)					
Mês	1 ano	2 ano	3 ano	4 ano	5 ano	Mês	1 ano	2 ano	3 ano	4 ano	5 ano
Janeiro	4997	942	37	1438	769	Janeiro	66	58	83,7	21,5	34,7
Fevereiro	6138	6721	3249	2009	4600	Fevereiro	143	226	22,3	45,8	103
Março	6436	6932	5605	4836	3038	Março	130	119	444	87,4	137
Abril	15512	6026	2691	6770	4241	Abril	136	48,2	42,7	245	48,3
Maio	2827	2393	3484	2133	3050	Maio	68,2	8,7	7,5	54,9	14,6
Junho	174	37	0	124	1587	Junho	21,4	17,9	15,4	14,3	11,4
Julho	0	831	0	62	1079	Julho	11,2	7,9	7,4	10,2	8,4
Agosto	0	0	0	00	0	Agosto	6,1	6,4	6,4	7,2	9,5
Setembro	0	0	0	00	0	Setembro	25,7	9,2	8,1	8,6	8,1
Outubro	0	0	0	0	0	Outubro	34	13,5	8,2	7,9	13,4
Novembro	0	0	0	0	0	Novembro	37,8	18,2	35,5	12,6	4,9
Dezembro	0	0	0	533	0	Dezembro	27,8	11,3	28,3	18,5	9,8

6.4.1.11 - Ciclo Chuvoso (74-78)- dados de entrada para os poços - iguais aos do ciclo normal.

6.4.1.12 - Ciclo Chuvoso (74-78)- dados de entrada para as culturas implantadas no modelo - iguais aos do ciclo normal.

6.4.2 - Segunda Situação: Nesta situação levou-se em consideração somente o reservatório alimentando o perímetro irrigado. Os dados de entrada para todos os ciclos são os mesmos da primeira situação, apenas desconsiderando os dados de entrada para os poços.

6.4.3- Terceira Situação: Foi simulado somente com os poços alimentando o perímetro irrigado. Os dados de entrada para todos ciclos são os mesmos da primeira situação, apenas desconsiderando os dados de entrada para o reservatório.

6.5 - Resultados, Análise e Discussão

As tabelas que se seguem mostram os resultados de otimização para as situações criadas, onde foi maximizado a receita líquida das culturas selecionadas. Além disso será fornecido gráficos do comportamento do reservatório ao longo dos meses de simulação para as situações criadas, volume aduzido do reservatório para irrigação e volume aduzido dos poços para irrigação. As Tabelas 6.11, 6.20 e 6.25 apresentam as áreas das culturas que geram a máxima receita líquida para os ciclos médio, normal, seco e chuvoso para as três situações criadas. Nas referidas tabelas é mostrado também, o déficit ou superávit da receita líquida dos ciclos normal, seco e chuvoso em relação a receita líquida do ciclo médio e totaliza a área irrigada no período de safra e entresafra para cada ciclo.

Tabela 6.11- Área das culturas (ha) e retorno líquido maximizado (1ª situação- reservatório e poços alimentando o perímetro) utilizando dados de entrada com valores médios para o ciclo médio e dados de entrada com valores mensais para os outros ciclos.

Culturas	ciclo médio	ciclo normal	ciclo seco	ciclo chuvoso	ciclo médio(A _{min})
Banana	7,46	2,22	0	9,43	0
Tomate (s)	30	30	30	30	30
Tomate(es)	30	30	0	30	16,5
Goiaba	0	0	0	0	20
Melancia(s)	20	20	13,2	20	20
Melancia(es)	0	0	0	9,29	0
Melão(s)	20	20	20	20	20
Melão(es)	20	20	20	20	20
Feijão(s)	40	0	0	40	40
Feijão(es)	0	0	0	0	0
Milho(s)	0	0	0	30	0
Milho(es)	0	0	0	0	0
Algodão(s)	4,24	0	0	20	2,7
Algodão(es)	0	0	0	0	0
Arroz(s)	0	0	0	20	0
Arroz(es)	0	0	0	0	0
Rec.liq.(R\$)	1.415.200	1.309.800	917.980	1.580.200	1.226.200
Déficit ou Superávit(%)		7,4	35	12	13,4
Área irrigada safra-(ha)	121,7	72,22	63,2	189,43	132,7
Área irrigada entresafra-(ha)	57,46	52,22	20	68,72	56,5
Área total	179,16	124,44	83,2	258,15	189,2

Observa-se na 1ª situação (Tabela 6.11) que o ciclo chuvoso teve a maior quantidade de área irrigada e maior receita líquida, isto, justifica-se pelo fato da taxa de pluviometria e vazões afluentes neste período serem maiores que nos outros ciclos, possibilitando ao reservatório e ao aquífero que alimenta os poços, uma maior reserva de água que irrigará sem problema de restrição hídrica o perímetro. Caso contrário ocorre com o ciclo seco, onde o índice de pluviometria durante o ciclo é baixo, gerando pequenos afluxos para o reservatório, deixando o reservatório com menor

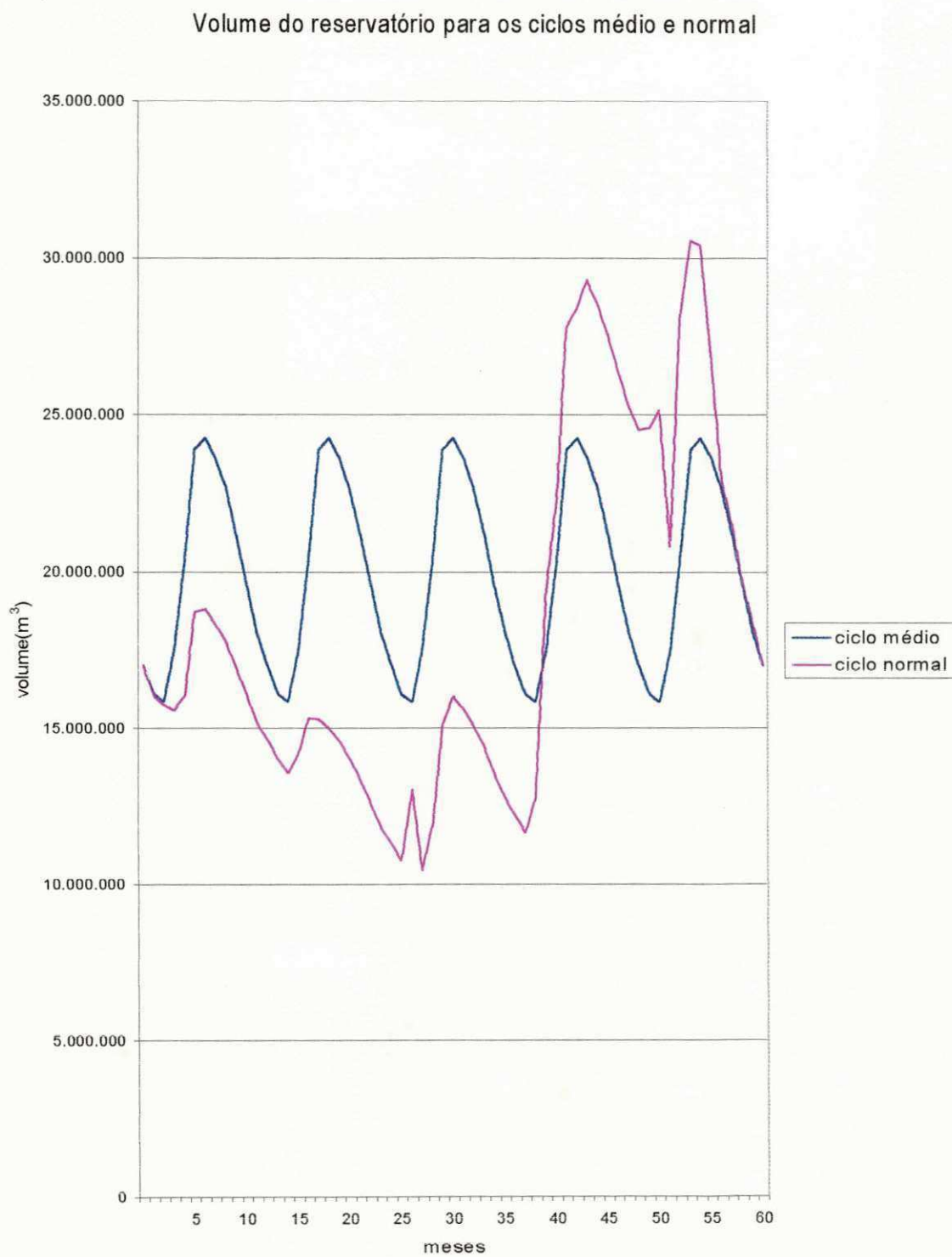
potencialidade hídrica para irrigação. Os ciclos médio e normal se aproximam nos resultados de receita líquida em virtude das médias mensais de pluviometria e vazões afluentes serem próximas, entretanto, o ciclo médio obteve um maior valor de receita líquida, pois teve como dados de entrada valores médios, enquanto que o ciclo normal teve como dados de entrada valores mensais de vazão afluente e precipitação para o período de simulação e otimização (5 anos).

Escolheu-se o ciclo médio para mostrarmos a variação da receita líquida quando fixamos a área mínima de uma cultura. Na Tabela 6.11 observa-se na primeira coluna, sem restrição de área mínima, onde o retorno líquido é de R\$ 1.415.200, que o modelo teve flexibilidade para escolher as áreas das culturas que resultassem no melhor retorno líquido, pois o mesmo trabalha com lâmina de rega fixa e área variável, já na última coluna, com restrição de área mínima em 20 ha para a cultura de goiaba, a receita líquida caiu para R\$ 1.226.200 (13,4%), isto, se deve ao fato de que o modelo satisfaz a restrição imposta da área mínima, independentemente de quanto vai alterar a receita líquida.

Um exemplo prático para este tipo de aplicação seria um contrato antecipado de vendas, ou seja, se fosse fechado um contrato de 5 anos com uma agro-indústria, para fornecimento de frutas e entre elas estivesse a goiaba, constando no contrato a cláusula que impunha a condição de entrega de 140.000 Kg de goiaba no 2º ano, 300.000 Kg no 3º ano e 400.000 Kg no 4º e 5º ano, então, seria necessário que fixássemos no modelo uma área mínima que rendesse no mínimo esta produção, no caso 20 ha.

Outro aspecto importante na aplicação do modelo é que o mesmo gera os volumes do reservatório para cada mês durante todo o período de simulação. A Figura 6.1 mostra como se comportou mensalmente o reservatório em termos de volume, para os ciclos médio e normal no período de simulação considerado (5 anos).

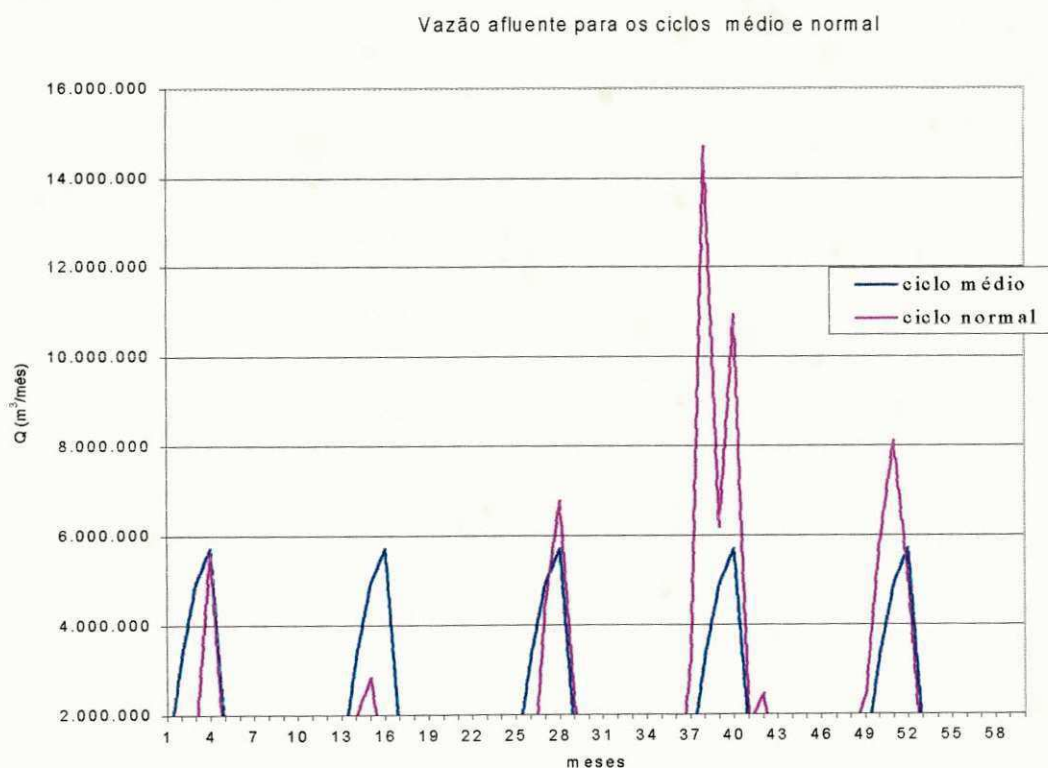
Figura 6.1 – Volume mensal do reservatório para os ciclos médio e normal (1ª situação -reservatório e poços alimentando o perímetro).



Pelo gráfico da Figura 6.1 observamos que no ciclo médio o volume do reservatório teve um comportamento semelhante durante o período de simulação (5

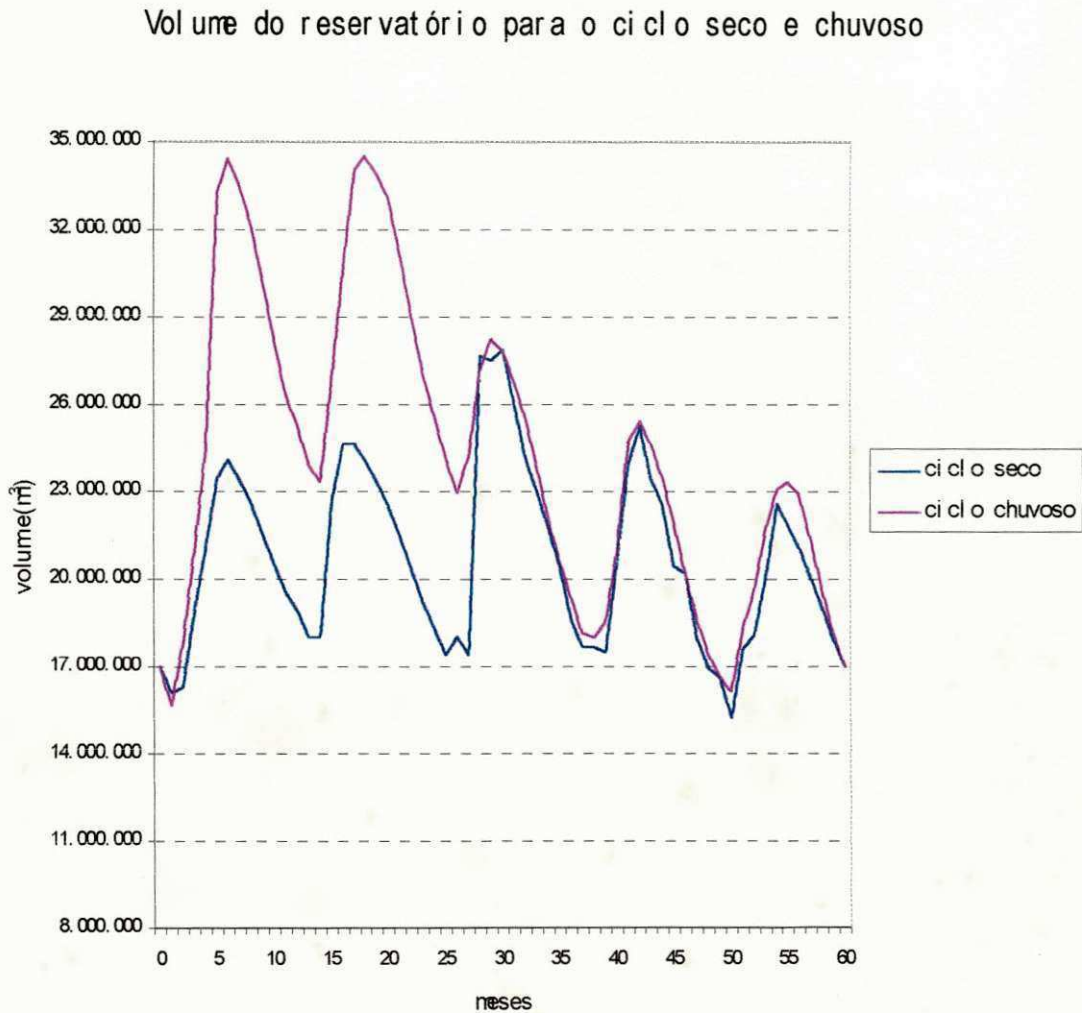
anos), isto se deve ao fato de termos trabalhado com dados de entrada médios para este ciclo. Observa-se, também, que o volume do reservatório até o 39º mês para o ciclo médio está sempre acima do volume do reservatório no ciclo normal e, logo após, o volume do reservatório no ciclo normal começa a crescer, ficando maior a partir do 43º mês e mantendo-se acima até o 60º mês de simulação. Isto se justifica pelo fato das vazões afluentes do ciclo médio estarem acima das vazões do ciclo normal na maior parte do tempo dos 36 meses iniciais e abaixo nos 24 meses finais, conforme mostra a Figura 6.2. Observa-se também pelo gráfico da Figura 6.1 que o modelo satisfaz para os dois ciclos, as restrições impostas de volume máximo (35.000.000) m³ e mínimo 10.000.000 m³. Neste mesmo gráfico mostra-se que é garantida a restrição de sustentabilidade hídrica do reservatório para os dois ciclos, ou seja, o modelo inicia o processo de simulação com 17.000.000m³ e termina com igual valor. A Figura 6.1 mostra que o tempo de resposta do reservatório é muito curto, ou seja responde rápido a variações de input e output.

Figura 6.2 - Vazão afluente para os ciclos médio e normal



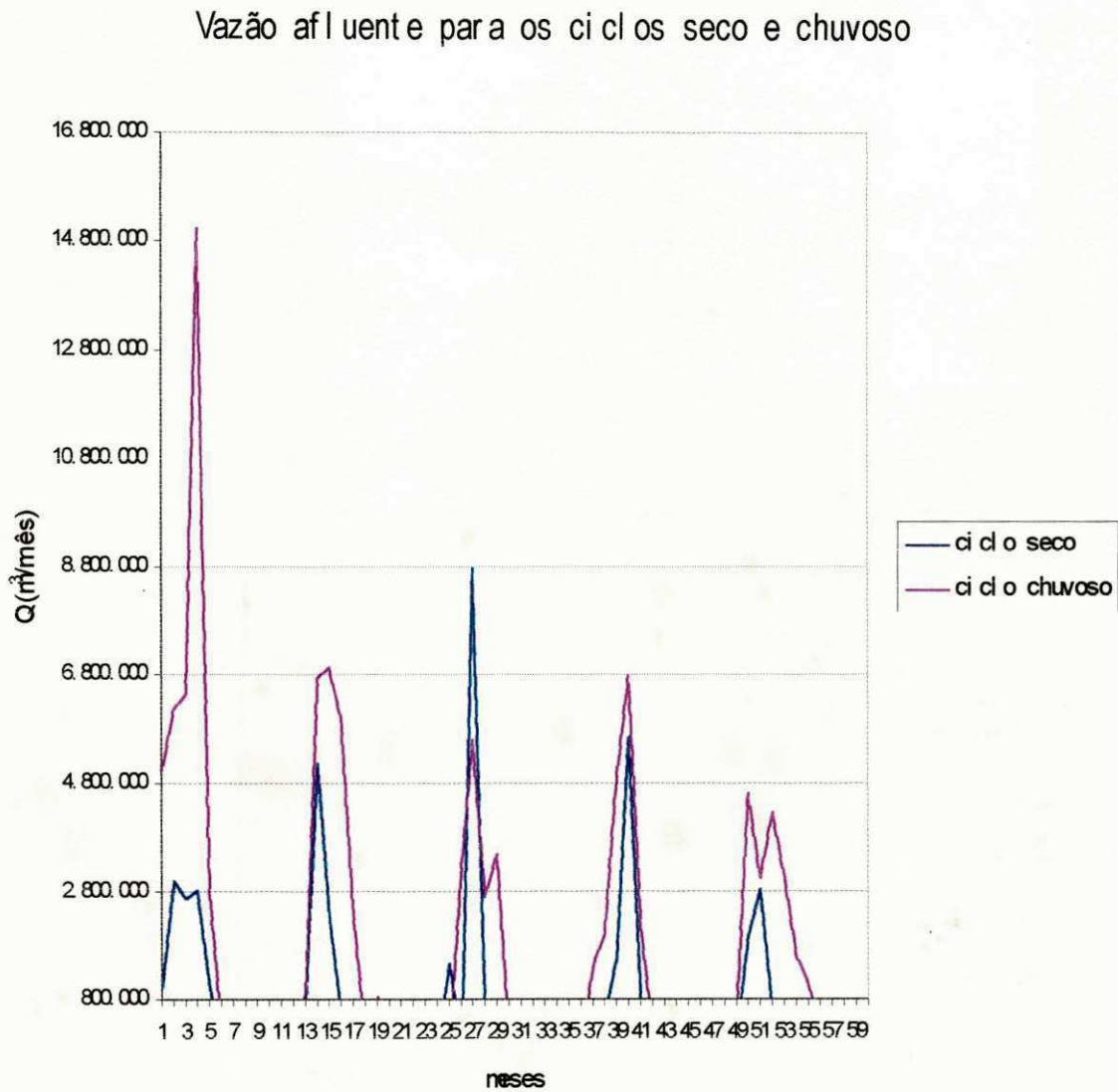
A Figura 6.3 mostra o volume do reservatório mensalmente para os ciclos seco e chuvoso durante o período de simulação em estudo (5 anos).

Figura 6.3 – Volume mensal do reservatório para os ciclos seco e chuvoso (1ª situação - reservatório e poços alimentando o perímetro irrigado)



O gráfico da Figura 6.3 mostra que no ciclo chuvoso o volume do reservatório está sempre acima do volume do reservatório do ciclo seco e nos meses iniciais com uma diferença bastante expressiva. Justifica-se este comportamento pelo mesmo motivo colocado anteriormente, os afluxos e as precipitações no ciclo chuvoso são maiores que os do ciclo seco durante o período de simulação. A Figura 6.4 mostra os afluxos para os dois ciclos, onde se observa grandes vazões afluentes nos anos iniciais. Observa-se também pelo gráfico da Figura 6.3 que o modelo satisfaz para os dois ciclos as restrições impostas de volume máximo ($35.000.000 \text{ m}^3$) e mínimo ($10.000.000 \text{ m}^3$). Neste mesmo gráfico mostra-se que é garantida a restrição de sustentabilidade hídrica do reservatório para os dois ciclos, ou seja, o modelo inicia o processo de simulação com $17.000.000 \text{ m}^3$ e termina com igual valor.

Figura 6.4 – Vazão afluyente para os ciclos seco e chuvoso



As Tabelas 6.12 à 6.19 mostram para todos os ciclos da primeira situação, os volumes de água retirados do reservatório e dos poços para a irrigação, mensalmente, durante os cinco anos de simulação e em seguida é apresentado de forma gráfica nas Figura 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11 um sumário destes dados.

Tabela 6.12 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo médio

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	37.710	37.710	37.710	37.710	37.710
Mar	10.890	10.890	10.890	10.890	10.890
Abr	0	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	143.550	143.550	143.550	143.550	143.550
Set	238.520	238.520	238.520	238.520	238.520
Out	327.720	327.720	327.720	327.720	327.720
Nov	136.130	136.130	136.130	136.130	136.130
Dez	0	0	0	0	0
Total	894.520	894.520	894.520	894.520	894.520

Tabela 6.13 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo médio

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	25.198	42.465	42.465	42.465	42.465
Fev	59.378	71.885	71.885	71.885	71.885
Mar	31.025	36.211	36.211	36.211	36.211
Abr	20.472	23.719	23.719	23.719	23.719
Mai	63.218	71.885	71.885	71.885	71.885
Jun	18.561	30.017	30.017	30.017	30.017
Jul	27.980	34.380	34.380	34.380	34.380
Ago	48.462	56.603	56.603	56.603	56.603
Set	57.883	66.875	66.875	66.875	66.875
Out	61.546	71.885	71.885	71.885	71.885
Nov	38.113	46.582	46.582	46.582	46.582
Dez	38.550	47.422	47.422	47.422	47.422
Total	490.386	599.929	599.929	599.929	599.929

Observa-se através da Tabela 6.12 que os volumes de água aduzidos do reservatório se repetem para os cinco anos de simulação. Isto acontece pelo fato de se usar dados de entrada com valores médios e também pelo fato do reservatório irrigar somente culturas temporárias no ciclo médio, cujas necessidades líquidas são iguais para todos os anos. A Tabela 6.13 mostra que o volume aduzido dos poços para irrigação é diferente no 1º ano e igual para os anos subsequentes, isto se justifica pelo fato de se irrigar a cultura de banana com água dos poços, onde sua necessidade líquida é crescente no 1º ano e estaciona a partir do 2º ano, ou seja, adotou-se para a banana, no primeiro ano, os coeficientes de cultivo estabelecidos na Tabela 6.6, de acordo com seu ciclo fenológico, e depois, a cultura atinge um certa estabilidade em relação a necessidade líquida, mantendo constante o seu coeficiente de cultivo.

Observa-se pelo gráfico da Figura 6.5 que no início de cada ano de simulação, o volume de água aduzido do reservatório é menor que o aduzido pelos poços. Isto se deve ao fato de, na otimização ser dada preferência à acumulação de água no reservatório nos meses mais chuvosos para liberar esta água nos meses mais secos, onde as culturas tem uma maior rentabilidade, devido a alta no preço de venda.

Figura 6.5 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação - 1ª situação - ciclo médio

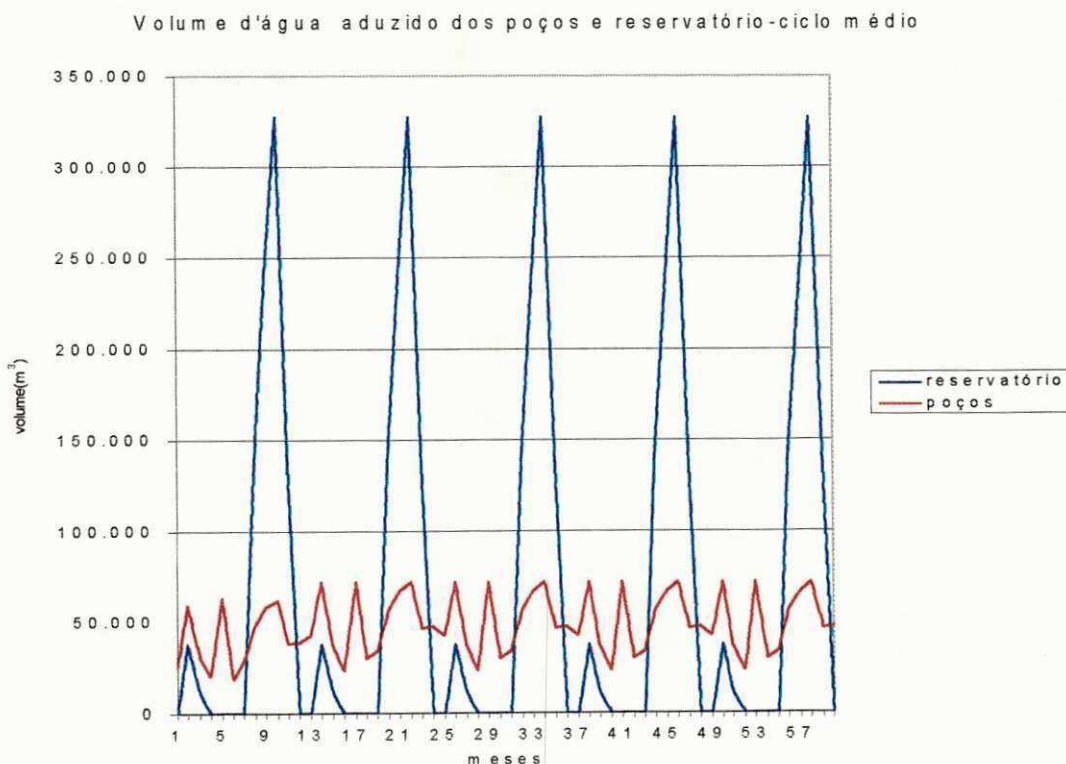


Tabela 6.14 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo normal

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	49.990	21.490	57.350	0	0
Mar	41.160	13.110	0	0	0
Abr	0	58.860	0	0	0
Mai	17.110	24.190	5.650	9.930	18.810
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	72.800	72.800	72.800	72.800	72.800
Set	125.700	125.700	125.700	125.700	125.700
Out	191.650	191.650	191.650	191.650	191.650
Nov	92.860	92.860	92.860	92.860	92.860
Dez	0	0	0	0	0
Total	591.270	600.660	546.010	492.940	501.820

Tabela 6.15 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo normal

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	3.369	5.137	5.143	2.999	3.620
Fev	61.501	28.199	71.885	0	0
Mar	49.800	16.790	0	0	0
Abr	0	71.885	0	0	0
Mai	20.985	30.761	7.757	13.060	24.087
Jun	2.284	3.589	3.589	1.753	3.589
Jul	3.281	4.010	3.966	4.010	4.010
Ago	47.910	48.838	48.838	48.838	48.838
Set	70.860	71.885	71.885	71.885	71.885
Out	70.707	71.885	71.885	71.885	71.885
Nov	13.574	14.539	14.539	14.539	14.539
Dez	4.521	5.559	5.559	4.439	5.559
Total	348.792	373.077	305.046	233.408	248.012

A Tabela 6.14 mostra que os volumes de água aduzido do reservatório são diferentes nos primeiros meses do ano, devido ao fato dos dados de entrada registrarem valores mensais. Os meses de agosto, setembro, outubro e novembro apresentam valores repetitivos para os cinco anos de simulação, devido não haver contribuição da parcela de precipitação efetiva, que sob o ponto de vista agrônomo é a fração de chuva que efetivamente permanece a disposição das raízes das plantas. Como nestes meses a intensidade de pluviometria é pequena, não há contribuição efetiva de chuva para as raízes das plantas, já que, o que chove, se perde por evaporação, escoamento ou percolação. Na Tabela 6.15 os volumes são diferentes para a maioria dos meses nos cinco anos de simulação, isto acontece, conforme descrevemos anteriormente, por se ter trabalhado com dados mensais de entrada. E os meses que apresentam volumes iguais aduzidos dos poços é devido a não contribuição da parcela de precipitação efetiva. A área da cultura de banana apresentada na Tabela 6.11 é irrigada com água dos poços, por isso que a Tabela 6.14 não apresenta volume aduzido do reservatório para irrigação durante todo o ano, pois não houve irrigação de cultura permanente pelo reservatório.

Observa-se pelo gráfico da Figura 6.6 que no início de cada ano de simulação, o volume de água aduzido do reservatório é menor que o aduzido pelos poços. Isto se deve ao fato de, na otimização, ser dada preferência à acumulação de água nos meses mais chuvosos para liberar nos meses mais secos, já que, as culturas tem uma maior rentabilidade no período de entressafra.

Figura 6.6 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação - 1ª situação - ciclo normal

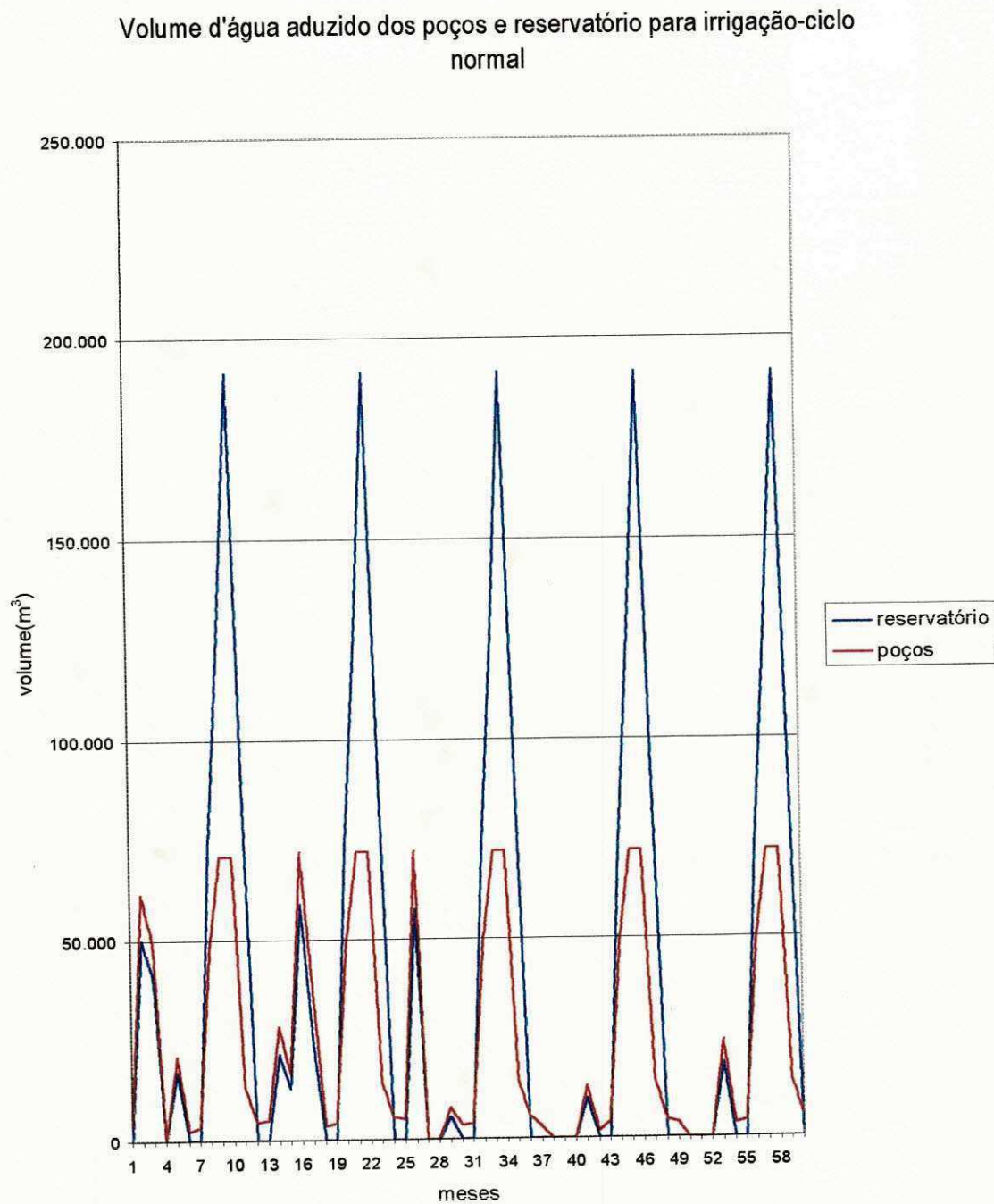


Tabela 6.16 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo seco

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	3.404	0	11.966	10.543	6.560
Mar	6.462	7.295	0	9.875	5.904
Abr	5.587	12.098	12.429	153	12.092
Mai	3.219	4.496	4.496	3.552	4.496
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	32.969	32.969	32.969	32.969	32.969
Set	47.670	48.555	48.555	48.555	48.555
Out	40.126	41.871	41.871	41.871	41.871
Nov	0	0	0	0	0
Dez	0	0	0	0	0
Total	139.437	147.284	152.286	147.518	152.447

Tabela 6.17 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo seco

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	21.389	0	71.885	63.493	40.011
Mar	39.006	43.914	0	59.126	35.718
Abr	31.546	69.934	71.885	815	69.897
Mai	17.207	24.028	24.028	18.987	24.028
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	48.811	48.811	48.811	48.811	48.811
Set	70.574	71.885	71.885	71.885	71.885
Out	59.405	61.989	61.989	61.989	61.989
Nov	0	0	0	0	0
Dez	0	0	0	0	0
Total	287.938	320.561	350.483	326.106	352.339

Os resultados das Tabelas 6.16 e 6.17 apresentam a mesma tendência que os resultados mostrados nas Tabelas 6.14 e 6.15, sendo que no ciclo seco não foi irrigada área para cultura de banana, conforme mostra a Tabela 6.11.

Observa-se pelo gráfico da Figura 6.7 que o volume de água aduzido dos poços é maior que o aduzido pelo reservatório, chegando a dobrar de valor quando se compita anualmente estes volumes, conforme mostram as Tabelas 6.16 e 6.17. Tal situação se deve ao fato do reservatório ter uma pequena reserva hídrica no período seco, ocasionado por baixos índices de pluviometria e afluxos, fazendo com que os poços sejam mais explorados, daí resultar num maior volume de água aduzido dos poços.

Figura 6.7 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação - 1ª situação - ciclo seco

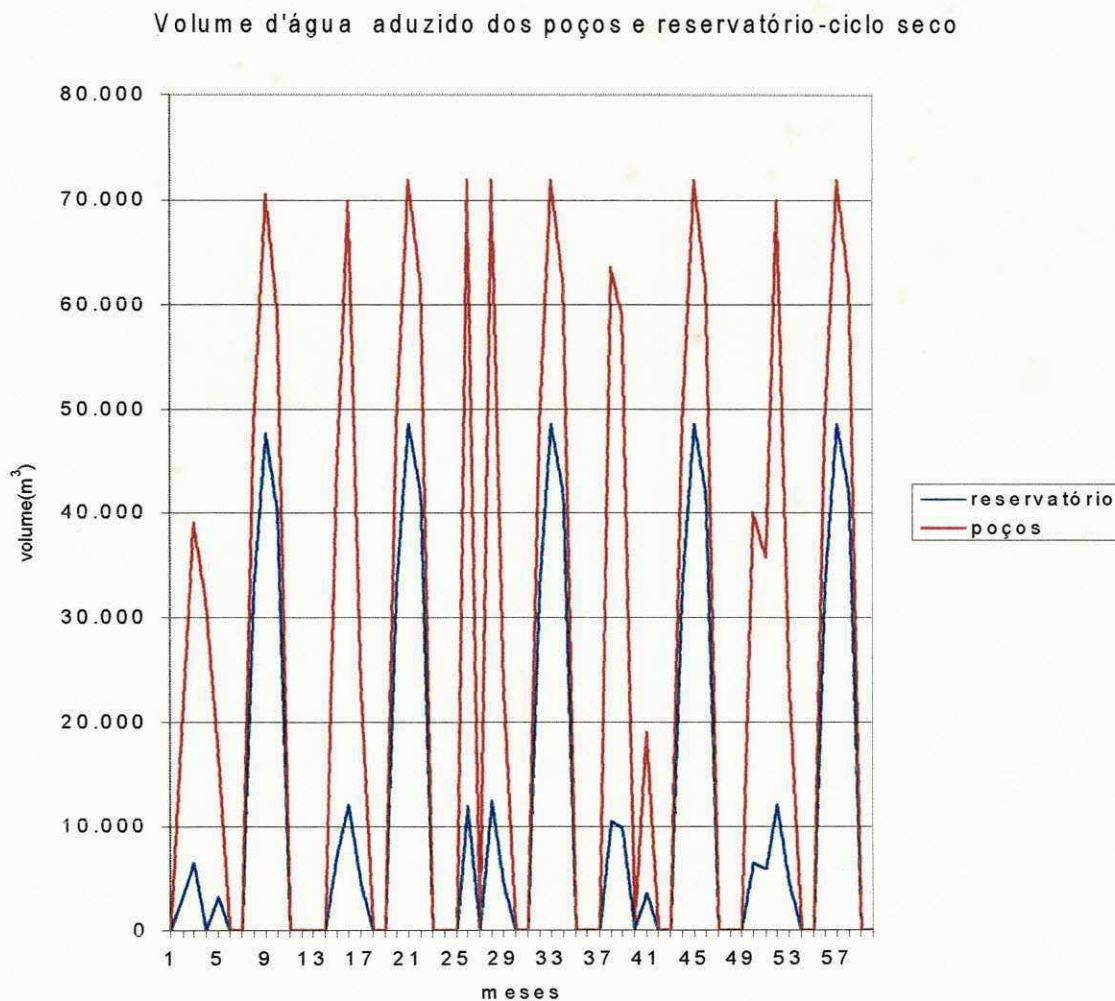


Tabela 6.18 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo chuvoso

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	4.340	680	83.760	157.030	16.050
Mar	0	0	0	25.950	128.790
Abr	0	0	100.530	0	20.560
Mai	17.510	24.690	48.790	30.350	14.150
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	155.380	155.380	155.380	155.380	155.380
Set	255.940	255.940	255.940	255.940	255.940
Out	342.740	342.740	330.520	342.740	342.740
Nov	124.230	136.130	136.130	136.130	135.750
Dez	0	0	0	0	0
Total	900.140	915.560	1.111.050	946.647	1.069.360

Tabela 6.19 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 1ª situação - ciclo chuvoso

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	6.681	54.059	58.401	51.295	54.915
Fev	1.902	998	41.134	71.885	20.414
Mar	0	0	0	12.279	51.808
Abr	0	0	71.885	0	27.259
Mai	14.869	36.388	71.885	44.727	20.877
Jun	23.061	38.198	39.825	37.820	30.119
Jul	35.660	39.044	44.497	42.744	37.861
Ago	46.311	56.603	56.603	56.603	56.603
Set	51.153	62.520	62.520	62.520	62.520
Out	58.815	71.885	69.578	71.885	71.885
Nov	44.438	58.887	58.887	58.887	58.769
Dez	48.619	60.691	61.690	57.684	61.690
Total	331.509	479.273	636.905	568.329	554.720

As Tabelas 6.18 e 6.19 recebem o mesmo tipo de comentário feito para os ciclos normal e seco anteriormente. Ou seja, os dados de entrada foram inseridos a nível mensal para o ciclo chuvoso, o que levou a resultados diferenciados para os meses simulados. Os valores de volumes aduzidos que se repetiram em alguns meses, tanto na Tabela 6.18 como 6.19 estão vinculados ao fato da não contribuição da parcela de precipitação efetiva. A Tabela 6.19 mostra que a área da cultura de banana especificada na Tabela 6.11 também foi irrigada pelo volume aduzido dos poços.

Observa-se pelo gráfico da Figura 6.8 que foi requerido do reservatório maior volume de água que dos poços nos meses mais secos, visto que, o reservatório detém uma maior reserva hídrica no período chuvoso, o que faz com que o modelo simule a situação procurando liberar a maior parte desta reserva hídrica nos meses de grande estiagem, já que nesses meses as culturas tem uma alta no preço de venda, o que faz com que a receita líquida aumente expressivamente.

Figura 6.8 - Volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação - 1ª situação - ciclo chuvoso

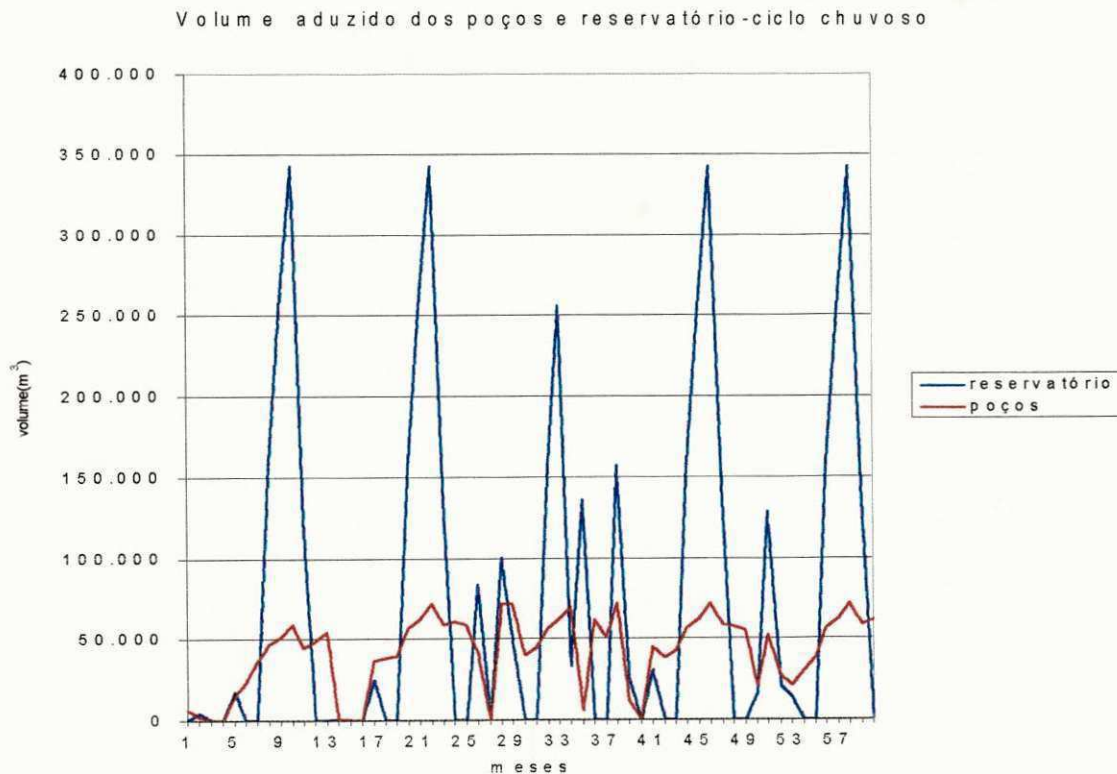
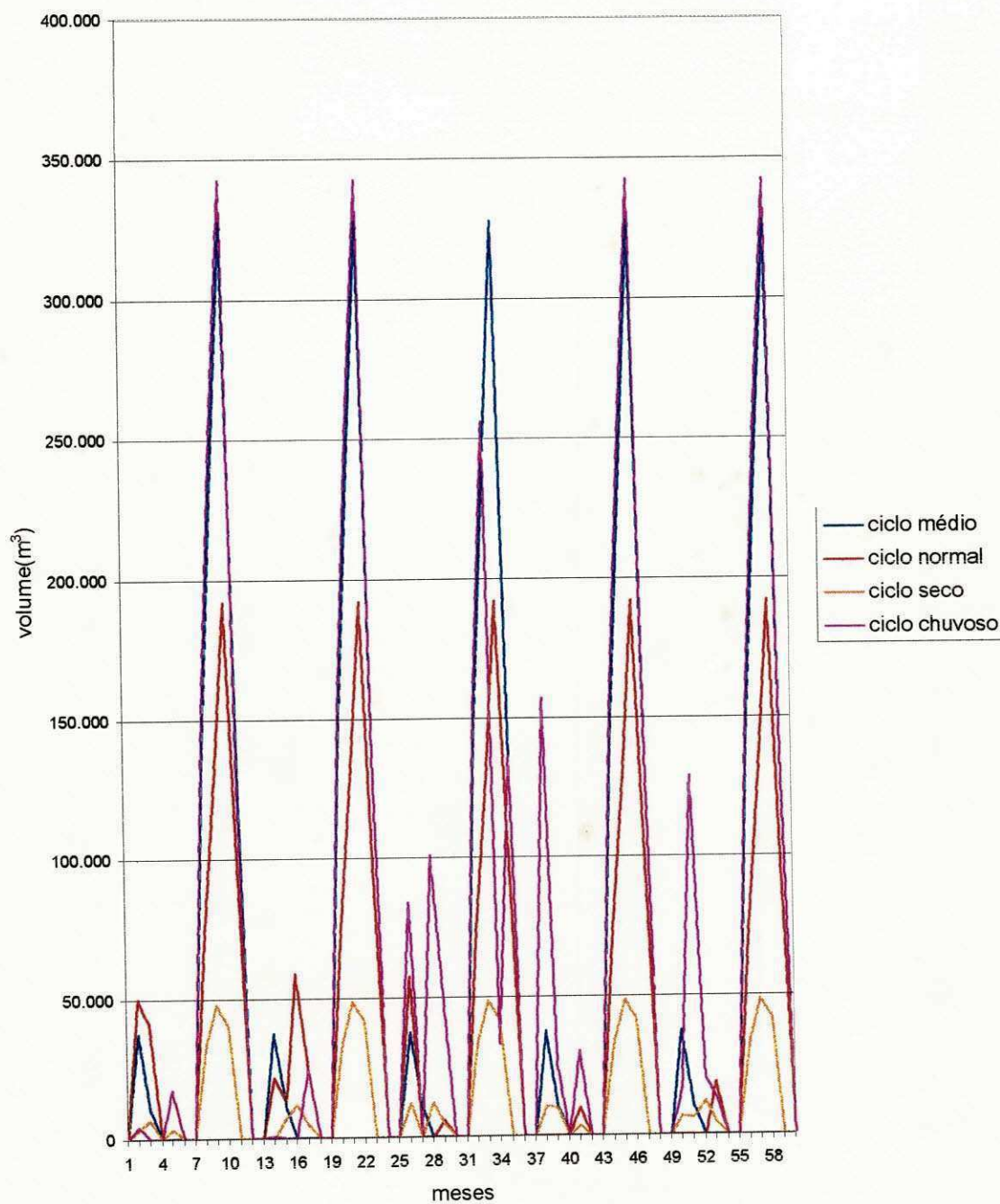


Figura 6.9 - Volume de água aduzido do reservatório para irrigação - 1ª situação - ciclo médio-ciclo normal-ciclo chuvoso-ciclo seco

Volume d'água aduzido do reservatório para irrigação (todos os ciclos)



O gráfico da Figura 6.9 mostra o volume requerido do reservatório para todos os ciclos, e, como era de se esperar, o ciclo chuvoso foi o de maior disponibilidade de água para irrigação, e o ciclo seco o de menor. Já o ciclo médio por ter utilizado dados de entrada com valores médios, tem um requerimento de água bem próximo do ciclo chuvoso, chegando a ser maior no início de alguns meses, durante o período simulado. Isto, justifica o fato da quantidade de área irrigada das culturas e da receita líquida do ciclo médio estabelecidas na Tabela 6.11 ficarem próximas das áreas e receita líquida do ciclo chuvoso.

Figura 6.10 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação - 1ª situação - ciclo médio-ciclo normal

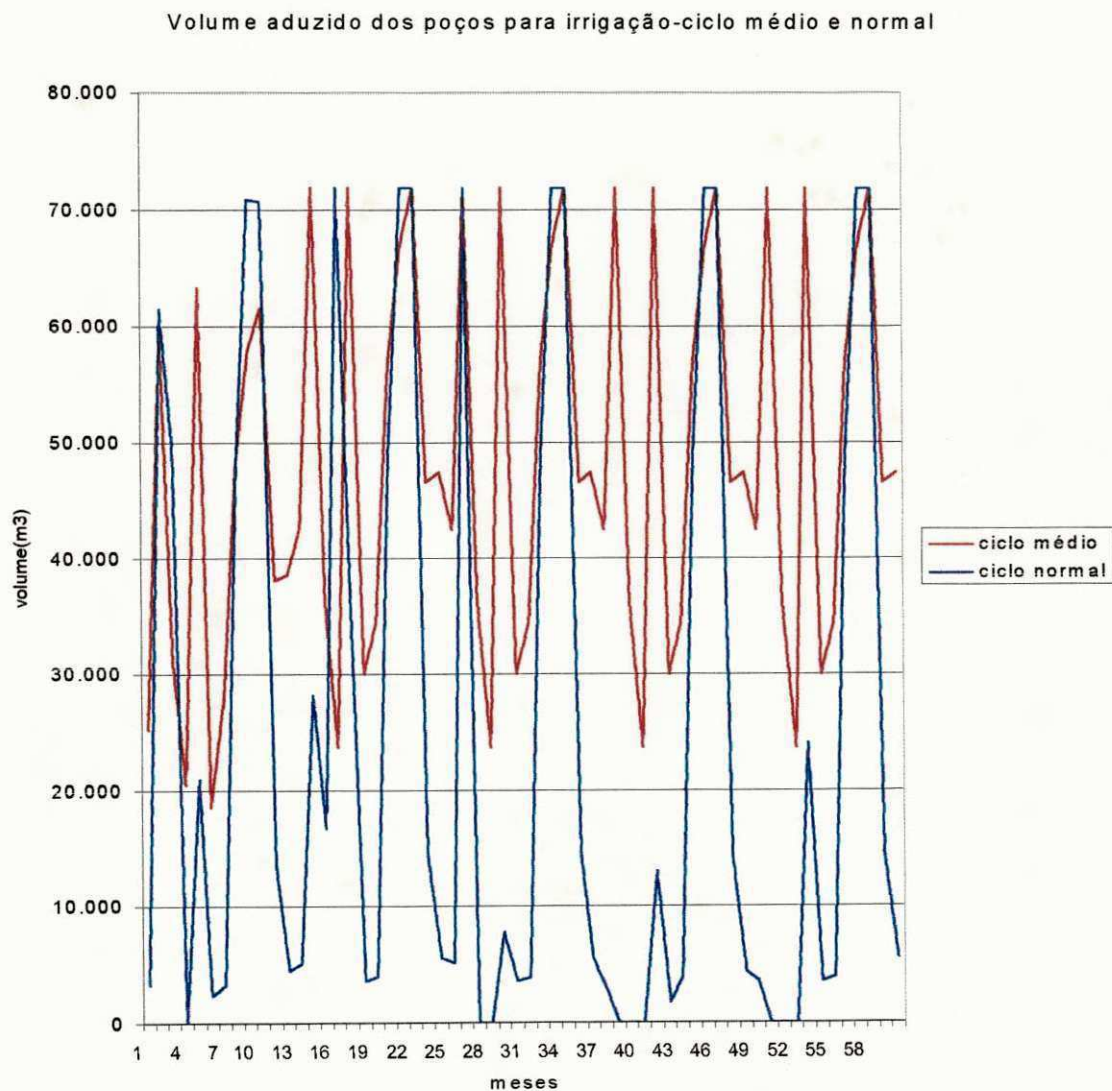
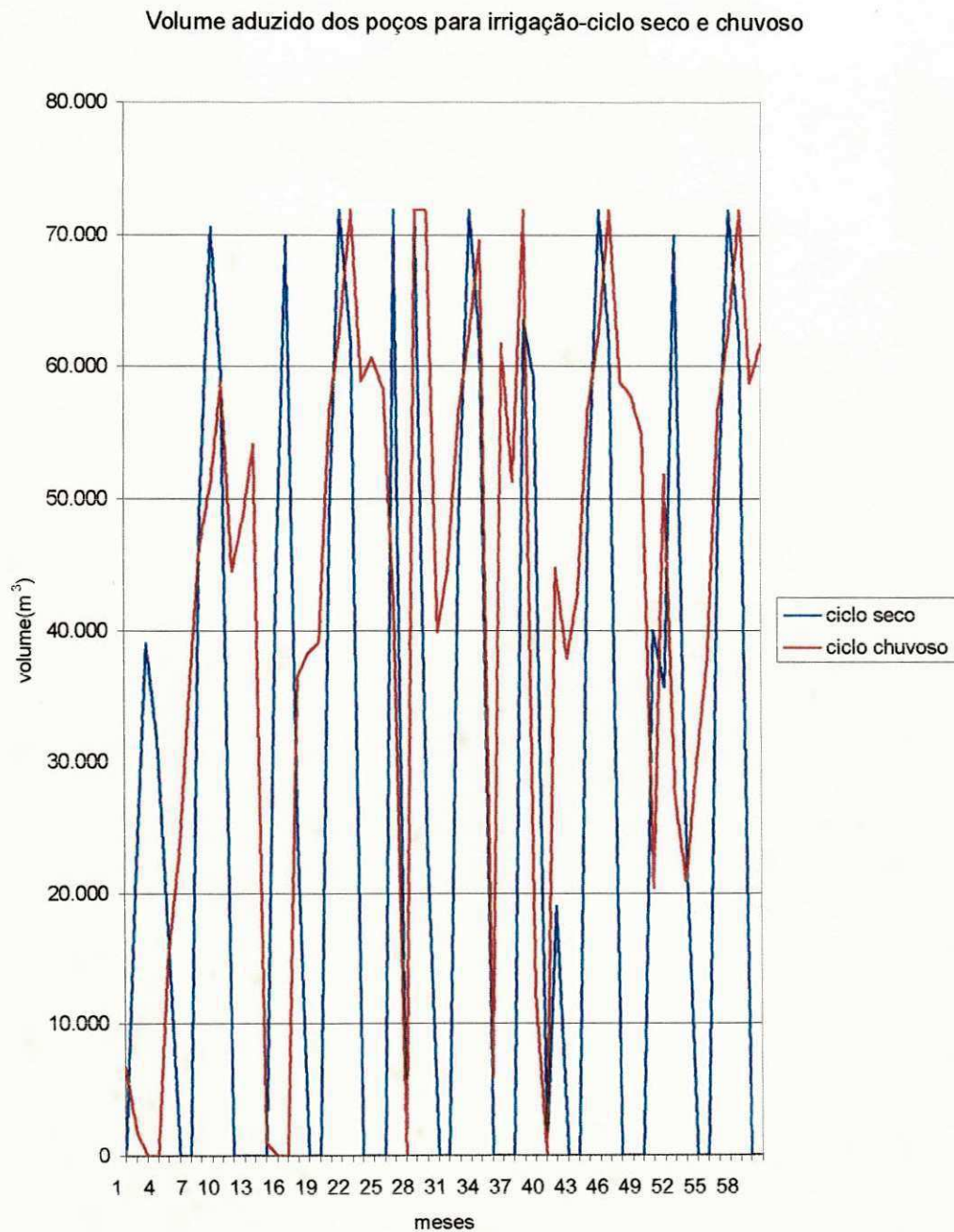


Figura 6.11 - Volume de água aduzido dos poços para irrigação - 1ª situação - ciclo seco-ciclo chuvoso



Os gráficos das Figuras 6.10 e 6.11 mostram os volumes requeridos dos poços para irrigação para todos os ciclos. Observa-se que estes gráficos seguem a mesma tendência do gráfico da Figura 6.9, onde o ciclo chuvoso é quem requer maior volume de água e o ciclo médio por ter utilizado dados de entrada com valores médios, tem um requerimento de água bem próximo do ciclo chuvoso, conforme mostram as Tabelas 6.13, 6.19 e as Figuras 6.10, 6.11. Já no ciclo seco o requerimento através dos poços aumenta muito, chegando a ficar acima do requerimento no ciclo normal conforme

mostram as Tabelas 6.15, 6.17 e as Figuras 6.10, 6.11. Isto, se deve ao fato de que no período seco a capacidade de reserva hídrica do reservatório tende a diminuir, devido a falta de contribuição pluviométrica, o que ocasiona a não contribuição de escoamento superficial. Tornando necessário maior exploração de água dos poços.

Tabela 6.20 - Área das culturas (ha) e retorno líquido maximizado (2ª situação-reservatório alimentando o perímetro) utilizando dados de entrada com valores médios para o ciclo médio e dados de entrada com valores mensais para os outros ciclos.

Culturas	ciclo médio	ciclo normal	ciclo seco	ciclo chuvoso
Banana	0	0	0	0
Tomate (s)	30	30	19,38	30
Tomate(es)	24,16	3,66	0	30
Goiaba	0	0	0	0
Melancia(s)	20	20	0	20
Melancia(es)	0	0	0	5,15
Melão(s)	20	20	20	20
Melão(es)	20	0	0	20
Feijão(s)	0	0	0	40
Feijão(es)	0	0	0	0
Milho(s)	0	0	0	30
Milho(es)	0	0	0	0
Algodão(s)	0	0	0	20
Algodão(es)	0	0	0	0
Arroz(s)	0	0	0	20
Arroz(es)	0	0	0	0
Ret.fin.liq(R\$)	1.202.300	980.260	400.960	1.409.600
déficit ou superavit(%)		18,5	66,7	17,2
total safra	70	70	39,38	180
total entresafra	44,16	23,66	0	55,15

Observa-se pelos resultados mostrados na Tabela 6.20, que fornece o retorno financeiro líquido para a 2ª situação, na qual a irrigação é feita usando-se apenas as reservas hídricas do reservatório, que houve déficits do ciclo normal e do ciclo seco em relação ao ciclo médio de 18,5% e 66,7% respectivamente. Havendo no ciclo chuvoso

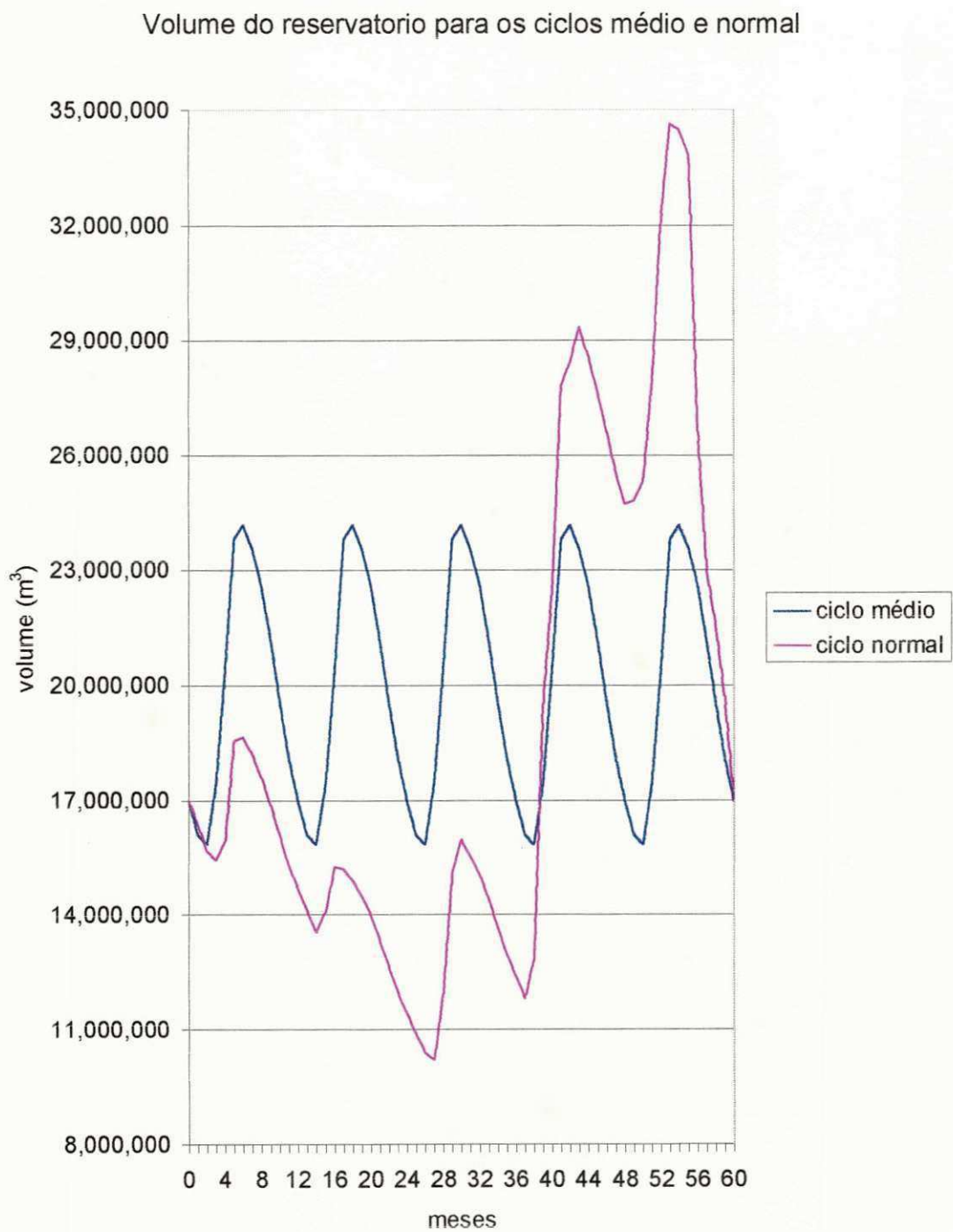
um superávit de 17,2% em relação ao ciclo médio. O déficit e o superávit da receita líquida dos ciclos, estão relacionados com vários fatores como o tipo de cultura implantada, custo de produção das culturas, preço de venda da cultura, período de plantio, sistema de irrigação utilizado, necessidade líquida de irrigação e principalmente volume de água disponível para irrigação.

O ciclo chuvoso teve a maior quantidade de área irrigada e maior receita líquida, devido a taxa de pluviometria e vazões afluentes neste período serem maiores que nos outros ciclos, possibilitando ao reservatório uma maior reserva de água que irrigará sem problema de restrição hídrica o perímetro. Caso contrário ocorre com o ciclo seco, onde o índice de pluviometria durante o ciclo é baixo, gerando pequenos afluxos para o reservatório, deixando o reservatório com menor potencialidade hídrica para irrigação. Observa-se ainda nesta tabela que não foi irrigada cultura permanente para nenhum dos ciclos.

Em relação a 1ª situação, mostrado na Tabela 6.11, na qual a irrigação é feita tanto com a água do reservatório como com a água dos poços, observa-se que há uma queda na receita líquida em torno de 15% para o ciclo médio, 25% para o ciclo normal, 56% para o ciclo seco e 11% para o ciclo chuvoso, decréscimo este considerado expressivo, daí a necessidade de se aproveitar a água do lençol freático com o uso dos poços, com a finalidade de aumentar a disponibilidade hídrica para irrigação, tendo por objetivo aumentar a produtividade do perímetro como também servir de apoio ao reservatório, principalmente, nos períodos em que o mesmo estiver com pequena reserva hídrica.

Além da maximização da receita líquida o modelo fornece o comportamento do volume do reservatório mensalmente para os ciclos médio, normal, seco e chuvoso durante o período de simulação, conforme mostram as Figuras 6.12 e 6.13.

Figura 6.12 – Volume mensal do reservatório para os ciclos médio e normal (2ª situação -reservatório alimentando o perímetro)



Pelo gráfico da Figura 6.12 observamos que no ciclo médio o volume do reservatório teve um comportamento semelhante durante o período de simulação (5 anos), devido ter-se trabalhado com dados de entrada médios para este ciclo. Observa-se também que o volume do reservatório até o 40º mês para o ciclo médio está sempre acima do volume do reservatório do ciclo normal e logo após, o volume do reservatório do ciclo normal começa a crescer, ficando maior a partir do 44º mês e mantendo-se acima até o 60º mês de simulação. Isto acontece devido as vazões afluentes do ciclo médio estarem acima das vazões do ciclo normal na maior parte do tempo dos 36 meses iniciais de simulação e abaixo nos 24 meses finais, conforme mostra a Figura 6.13. Observa-se também pelo gráfico da Figura 6.12 que o modelo satisfaz para os dois ciclos, as restrições impostas de volume máximo (35.000.000m³) e mínimo (10.000.000 m³). Neste mesmo gráfico é garantida a restrição de sustentabilidade hídrica do reservatório para os dois ciclos, ou seja, o modelo inicia o processo de simulação com 17.000.000m³ e termina com igual valor.

Figura 6.13 - Vazão afluente para os ciclos médio e normal

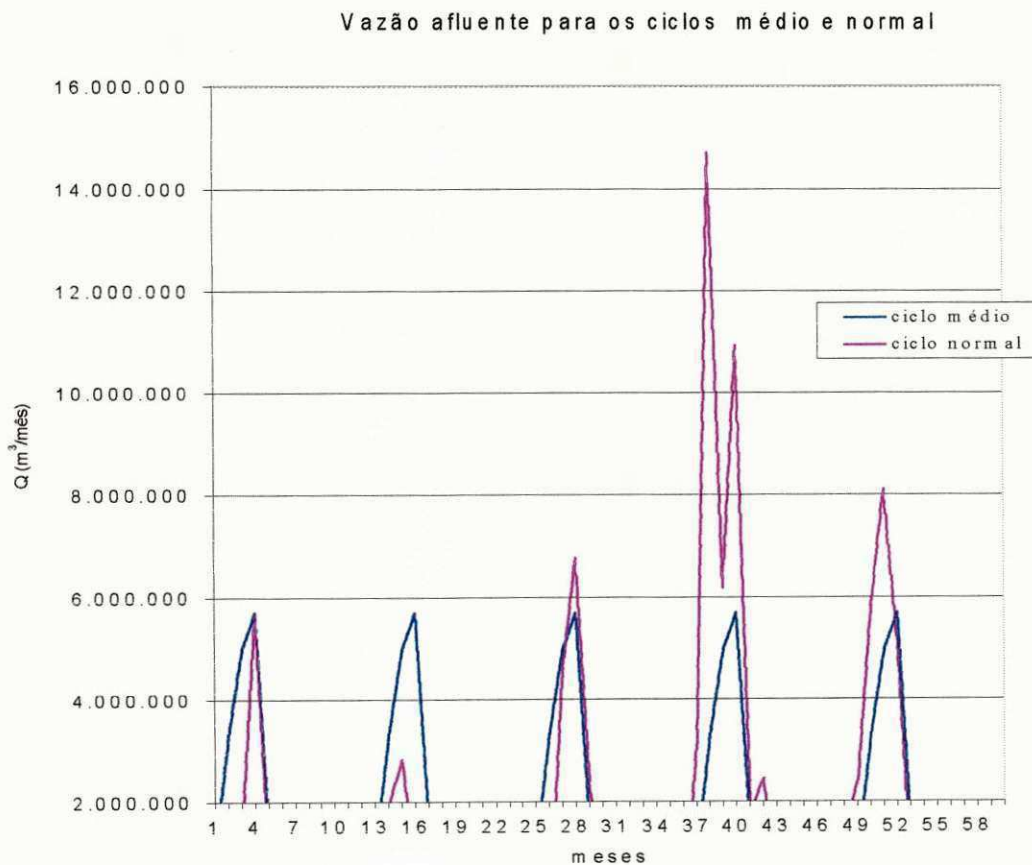
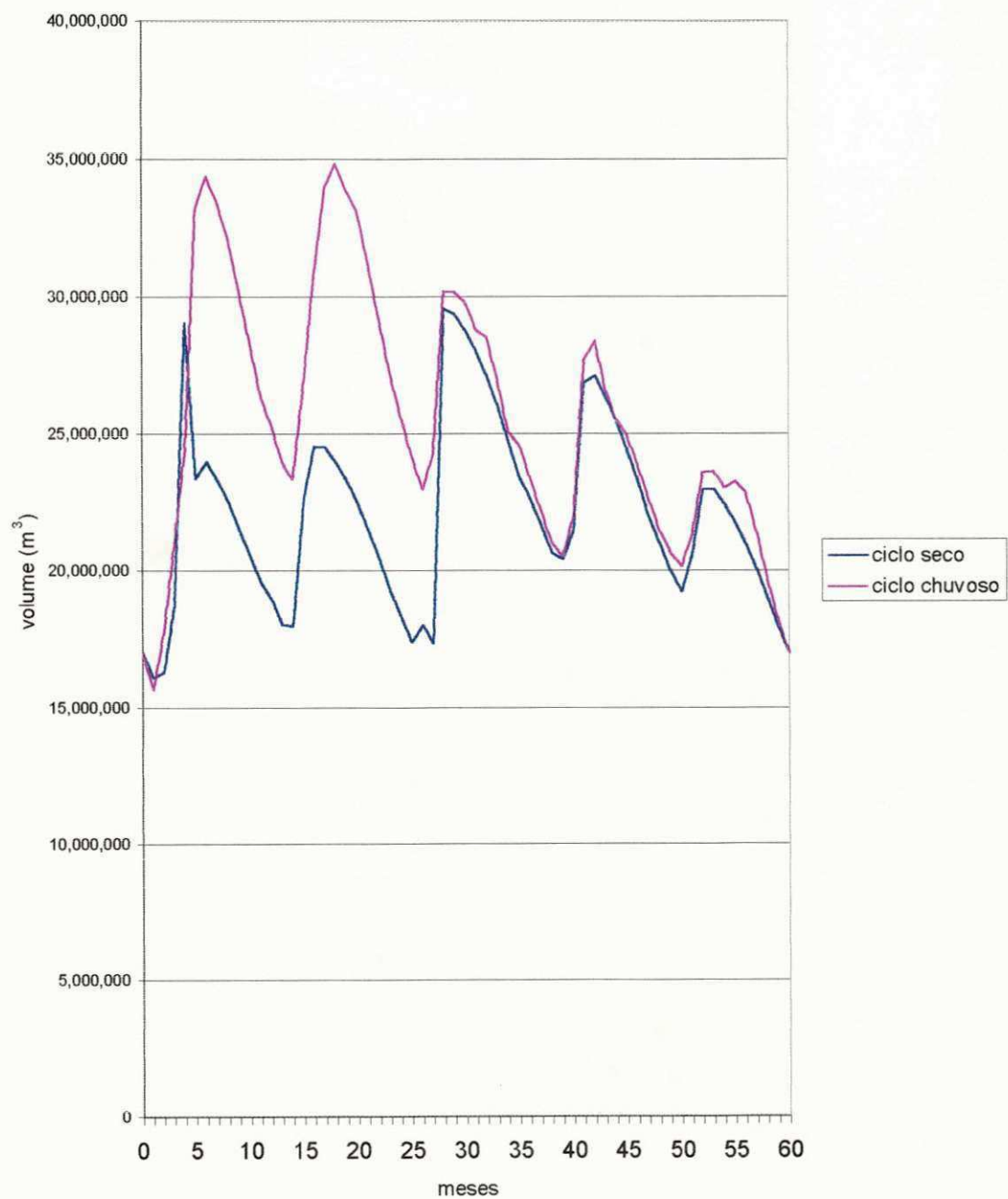


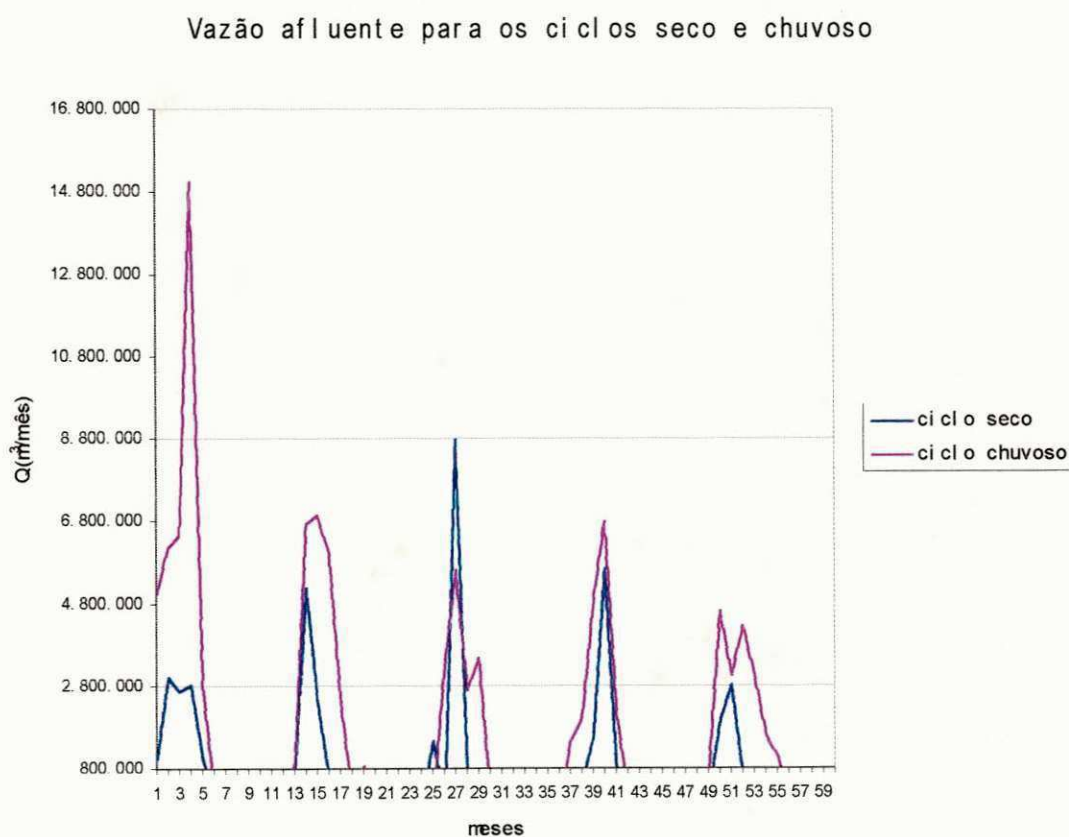
Figura 6.14 – Volume mensal do reservatório para os ciclos seco e chuvoso (2ª situação - reservatório alimentando o perímetro)

Volume do reservatório para os ciclos seco e chuvoso



O gráfico da Figura 6.13 mostra que no ciclo chuvoso o volume do reservatório está sempre acima do volume do reservatório do ciclo seco e nos meses iniciais com uma diferença bastante expressiva. Justifica-se este comportamento pelo mesmo motivo colocado anteriormente, os afluxos e as precipitações no ciclo chuvoso são maiores que os do ciclo seco durante o período de simulação. A Figura 6.14 mostra os afluxos para os dois ciclos, onde se observa grandes vazões afluentes nos anos iniciais para o ciclo chuvoso. Observa-se também pelo gráfico da Figura 6.13 que o modelo satisfaz para os dois ciclos as restrições impostas de volume máximo (35.000.000 m³) e mínimo (10.000.000 m³). Neste mesmo gráfico é garantida a restrição de sustentabilidade hídrica do reservatório para os dois ciclos, ou seja, o modelo inicia o processo de simulação com 17.000.000m³ e termina com igual valor.

Figura 6.15 - Vazão afluente para os ciclos seco e chuvoso



As Tabelas 6.21, 6.22, 6.23 e 6.24 mostram o volume de água utilizado na irrigação aduzido do reservatório, mensalmente, para todos os ciclos durante os cinco anos de simulação.

Tabela 6.21 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 2ª situação - ciclo médio

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	48.950	48.950	48.950	48.950	48.950
Mar	14.130	14.130	14.130	14.130	14.130
Abr	17.940	17.940	17.940	17.940	17.940
Mai	47.470	47.470	47.470	47.470	47.470
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	141.060	14.106	14.106	14.106	14.106
Set	229.570	229.570	229.570	229.570	229.570
Out	296.250	296.250	296.250	296.250	296.250
Nov	109.640	109.640	109.640	109.640	109.640
Dez	0	0	0	0	0

Tabela 6.22 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 2ª situação - ciclo normal

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	109.440	47.220	125.550	0	0
Mar	90.060	28.840	0	0	0
Abr	0	128.180	0	0	0
Mai	36.940	52.240	12.210	21.440	40.620
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	72.750	72.750	72.750	72.750	72.750
Set	111.350	111.350	111.350	111.350	111.350
Out	114.960	114.960	114.960	114.960	114.960
Nov	21.120	21.120	21.120	21.120	21.120
Dez	0	0	0	0	0

Tabela 6.23 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 2^a situação - ciclo seco

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	24.793	0	61.504	55.424	38.411
Mar	34.658	38.213	0	49.236	32.276
Abr	13.078	40.891	42.304	0	40.864
Mai	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	15.080	15.080	15.080	15.080	15.080
Set	21.804	22.209	22.209	22.209	22.209
Out	18.353	19.152	19.152	19.152	19.152
Nov	0	0	0	0	0
Dez	0	0	0	0	0

Tabela 6.24 – Volume de água aduzido do reservatório para irrigação (m³) - 2^a situação - ciclo chuvoso

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	15.467	0
Fev	0	0	6.554	2.397	223
Mar	0	0		0	13.169
Abr	0	0	12.525	3.170	3.050
Mai	13.570	23.700	5.775	0	882
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	15.538	15.538	15.538	15.538	15.538
Set	25.593	25.593	25.593	25.593	25.593
Out	34.274	34.274	33.052	34.274	34.274
Nov	12.423	13.613	13.613	13.613	13.575
Dez	0	0	0	0	0

Observa-se através da Tabela 6.21 que os volumes de água aduzido do reservatório para irrigação se repetem para os cinco anos de simulação. Isto acontece pelo fato de se usar dados de entrada com valores médios.

A Tabela 6.21 mostra que não foi aduzido água do reservatório para irrigação de culturas permanentes, por isso os meses de janeiro, junho, julho e dezembro são nulos, visto que, as culturas permanentes são irrigadas durante o ano todo. Isto é confirmado pela Tabela 6.20 que mostra claramente áreas nulas para as culturas de banana e goiaba.

As Tabelas 6.22 e 6.23 mostram que os volumes de água aduzidos do reservatório são diferentes em alguns meses do ano, devido ao fato dos dados de entrada registrarem valores mensais. Os meses que apresentam valores repetitivos para os cinco anos de simulação, é devido não haver contribuição da parcela de precipitação efetiva, que como já foi visto, é a fração de chuva que efetivamente permanece a disposição das raízes das plantas. Como nestes meses a intensidade de pluviometria é pequena, não há contribuição efetiva de chuva para as raízes das plantas.

Pela Tabela 6.24 vemos que para o ciclo chuvoso, o volume de água aduzido do reservatório é pequeno nos primeiros meses do ano, principalmente nos dois primeiros anos, pois neste período chove bastante na região do perímetro, o que faz com que seja desnecessário explorar o reservatório em grandes quantidades. Já os meses de agosto, setembro, outubro e novembro apresentam valores significativos de volume d'água aduzido, uma vez que estes meses se encontram dentro do período de estiagem da região, quando quase não há contribuição de parcela de chuva, tendo como consequência uma maior exploração de água do reservatório para irrigação neste período, já que é o período de maior retorno líquido das culturas.

Tabela 6.25 - Área das culturas (ha) e retorno líquido maximizado (3ª situação-poços amazonas alimentando o perímetro) utilizando dados de entrada com valores médios para o ciclo médio e dados de entrada com valores mensais para os outros ciclos.

culturas	ciclo médio	ciclo normal	ciclo seco	ciclo chuvoso
banana	0	0	0	0
tomate (s)	30	30	27,53	30
tomate(es)	0	0	0	0
goiaba	0	0	0	0
melancia(s)	20	0	7,5	20
melancia(es)	0	0	0	0
melão(s)	20	9,8	20	20
melão(es)	11,94	11,93	12,15	11,94
feijão(s)	22,62	0	0	40
feijão(es)	0	0	0	0
milho(s)	0	0	0	24,9
milho(es)	0	0	0	0
algodão(s)	16,98	0	0	20
algodão(es)	0	0	0	0
arroz(s)	0	0	0	20
arroz(es)	0	0	0	0
Ret.fin.liq(R\$)	826.920	700.900	690.290	912.870
déficit ou superavit(%)		15%	16,5%	10%
total safra	109,6	39,8	55,03	174,9
total entresafra	11,9	11,9	12,2	11,9

Observa-se através da Tabela 6.25 uma queda de receita líquida em todos os ciclos, em relação as situações anteriores devido a uma menor disponibilidade hídrica para a irrigação, limitada só ao uso da água dos poços. A Tabela 6.25 mostra que o ciclo seco apresenta uma queda de 16,5% na receita líquida em relação ao ciclo médio. Este decréscimo foi bem menor em relação a primeira situação (Tabela 6.11) e segunda situação (Tabela 6.20), onde o ciclo seco teve queda de 35% e 66,7% respectivamente. Esta redução de déficit da receita líquida do ciclo seco se deve ao fato de que a receita

líquida do ciclo médio cai substancialmente em relação primeira e segunda situações quando a irrigação é feita só com os poços. Enquanto que a receita líquida do ciclo seco aumenta em relação a primeira e segunda situações, pois, o ciclo seco explora muito mais volume de água dos poços para irrigação que os outros ciclos, devido a baixa contribuição de precipitação neste período.

A Tabela 6.25 também mostra que não houve irrigação de cultura permanente e que o ciclo chuvoso apresentou uma alta de 10% na receita líquida em relação ao ciclo médio, o ciclo normal um queda de 15% e o ciclo seco uma queda de 16,5%. Como não há volume de água aduzida do reservatório para esta situação, mostraremos abaixo as tabelas com o volume de água aduzido dos poços para todos os ciclos nesta situação, acompanhado de um esboço gráfico.

Tabela 6.26 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 3ª situação - ciclo médio

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	71.885	71.885	71.885	71.885	71.885
Mar	29.841	29.841	29.841	29.841	29.841
Abr	28.090	28.090	28.090	28.090	28.090
Mai	71.885	71.885	71.885	71.885	71.885
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	48.811	48.811	48.811	48.811	48.811
Set	71.885	71.885	71.885	71.885	71.885
Out	61.989	61.989	61.989	61.989	61.989
Nov	0	0	0	0	0
Dez	0	0	0	0	0

Tabela 6.27 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 3^a situação - ciclo normal

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	58.065	24.054	66.839	0	0
Mar	48.035	14.569	0	0	0
Abr	0	71.885	0	0	0
Mai	22.488	31.978	7.432	13.049	24.728
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	48.811	48.811	48.811	48.811	48.811
Set	71.885	71.885	71.885	71.885	71.885
Out	61.989	61.989	61.989	61.989	61.989
Nov	0	0			
Dez	0	0			

Tabela 6.28 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 3^a situação - ciclo seco

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	9.088	0	68.499	57.299	25.957
Mar	21.643	28.193	0	48.497	17.254
Abr	18.044	69.281	71.885	0	69.232
Mai	18.226	29.328	29.328	21.123	29.328
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	48.811	48.811	48.811	48.811	48.811
Set	70.138	71.885	71.885	71.885	71.885
Out	58.544	61.989	61.989	61.989	61.989
Nov	0	0	0	0	
Dez	0	0	0	0	

Tabela 6.29 – Volume de água aduzido dos poços para irrigação (m³) - 3ª situação - ciclo chuvoso

Meses	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Jan	0	0	0	0	0
Fev	0	0	8.755	71.885	0
Mar	0	0	0	0	44.641
Abr	0	0	69.673	0	0
Mai	1.177	10.778	71.885	25.134	571
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Ago	48.811	48.811	48.811	48.811	48.811
Set	71.885	71.885	71.885	71.885	71.885
Out	61.989	61.989	58.098	61.989	61.989
Nov	0	0	0	0	0
Dez	0	0	0	0	0

A Tabela 6.26 mostra que os volumes de água aduzido dos poços para irrigação se repetem para os cinco anos de simulação, devido se usar dados de entrada com valores médios.

As Tabelas 6.26, 6.27, 6.28 e 6.29 mostram que não foi aduzido água dos poços para irrigação de culturas permanentes, por isso alguns meses do ano nas tabelas são nulos. Visto que, as culturas permanentes são irrigadas durante o ano todo. Isto é confirmado pela Tabela 6.25 que mostra claramente áreas nulas para as culturas de banana e goiaba.

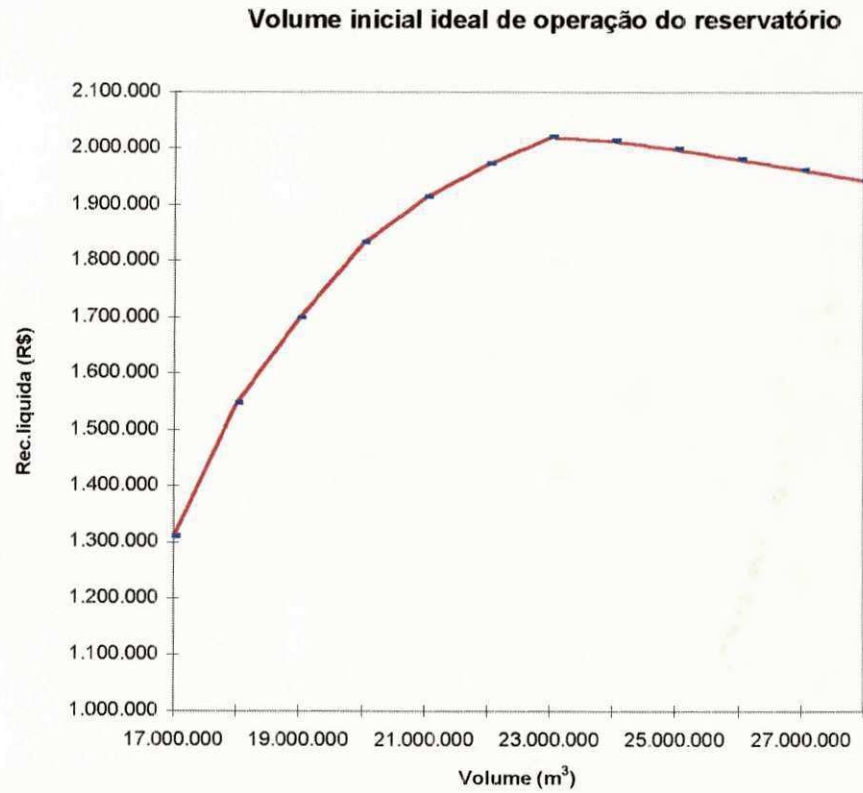
As Tabelas 6.27, 6.28 e 6.29 mostram que os volumes de água aduzido dos poços são diferentes em alguns meses do ano, devido ao fato dos dados de entrada registrarem valores mensais. Os meses que apresentam valores repetitivos para os cinco anos de simulação, é devido não haver contribuição da parcela de precipitação efetiva, que como já foi visto, é a fração de chuva que efetivamente permanece a disposição das raízes das plantas. Como nestes meses a intensidade de pluviometria é pequena, não há contribuição efetiva de chuva para as raízes das plantas.

Além de fornecer mensalmente a área das culturas, o volume do reservatório e volume de água aduzido do reservatório e dos poços para irrigação, o modelo também fornece a área do espelho d'água do reservatório e a necessidade líquida para cada cultura.

6.5.1 - Volume inicial ideal de operação do reservatório

O modelo além de maximizar a receita líquida do perímetro para um determinado volume inicial, diante dos valores de entrada adotados, também é capaz de obter para estes mesmos valores de entrada o volume inicial ideal de operação do reservatório. O procedimento é tal que, dado um certo volume mínimo inicial, obtém-se uma certa receita líquida maximizada, logo após, aumenta-se este volume inicial paulatinamente e a receita líquida também vai aumentando, já que, está havendo uma disponibilidade maior de água para o perímetro, até chegar num ponto em que a partir deste, o volume inicial não pode mais ser aumentado pois começa a reduzir a disponibilidade hídrica do reservatório, face as condições dos valores de entrada adotados e da condição de sustentabilidade hídrica do problema que é caracterizada como uma restrição onde o volume armazenado no final do período de estudo deve ser maior ou igual ao volume no início deste mesmo período, fazendo com que a receita líquida diminua. Utilizou-se o ciclo normal da primeira situação para mostrarmos graficamente este volume ideal de operação, conforme observamos na Figura 6.15.

Figura 6.16 – Volume ideal de operação do reservatório no ciclo normal – primeira situação



V_{ini} .Reservatório(m ³)	Receita.líquida(R\$)
17.000.000	1.309.800
18.000.000	1.546.100
19.000.000	1.698.100
20.000.000	1.832.300
21.000.000	1.912.700
22.000.000	1.972.600
23.000.000	2.019.700
23.100.000	2.024.100
23.110.000	2.024.600
23.120.000	2.025.000
23.130.000	2.025.500
$V_{ideal} = 23.140.000$	2.026.000
23.150.000	2.025.900
23.160.000	2.025.700
23.170.000	2.025.600
23.180.000	2.025.400
23.190.000	2.025.300
23.200.000	2.025.100
23.500.000	2.020.600
23.600.000	2.019.200
24.000.000	2.013.200
25.000.000	1.998.600
26.000.000	1.980.200
27.000.000	1.961.600
28.000.000	1.943.300

6.5.2 – Análise de sensibilidade do modelo

A Tabela 6.30 mostra quanto varia a receita líquida do ciclo médio para a primeira situação (coluna 1), a medida que alteramos os valores do preço da água do reservatório, água dos poços, energia elétrica, preço de venda das culturas e custo de produção das culturas (Colunas 2,3,4,5 e 6) e se esta variação está consistente com a formulação do problema.

Tabela 6.30 - Análise de sensibilidade do modelo considerando primeira situação e ciclo médio.

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	unid	(R\$)	+ 20%-R\$	R\$	+ 20%-R\$	+ 20%-R\$	+ 20%-R\$
Água do reservat.	m ³	0,012	0,0144	0,012	0,012	0,012	0,012
Água dos poços	m ³	0	0	0,012	0	0	0
Energia elétrica	Kwh	0,07	0,07	0,07	0,084	0,07	0,07
Preço unit. culturas	R\$/Kg	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	9,47
Custo de produção	ha	123.827,73	123.827,73	123.827,73	123.827,73	148.593,28	123.827,73
Receita líquida	RS	1.415.200	1.410.500	1.399.600	1.380.700	1.349.100	1.768.700
Déficit / Superávit			0,3%	1,1%	2,4%	4,7%	25%

A Coluna 1 da Tabela 6.30 representa os valores originais do ciclo médio. Observa-se que aumentando o preço da água do reservatório em 20% (Coluna 2) em relação a coluna 1 a receita líquida cai 0,3%. Na Coluna 3 atribuiu-se valor para água dos poços e a receita líquida cai 1,1%, na Coluna 4 o preço da energia subiu 20% e a receita líquida fica deficitária em 2,4% e na Coluna 5 o custo de produção das culturas também aumenta 20%, fazendo com que a receita líquida tenha um déficit de 4,7% em relação a situação original (Coluna 1). A queda da receita líquida na Coluna 4 foi maior que as colunas 2 e 3 pois o preço da energia é quase 6 vezes maior do que o preço d'água. A Coluna 5 teve um déficit mais expressivo pois o custo de produção das culturas tem peso significativo na receita líquida. Já na receita líquida da Coluna 5 houve um acréscimo de 25%, pois o preço de venda das culturas está diretamente ligado com a receita líquida da mesma, de forma que qualquer mudança neste preço, altera significativamente a receita líquida.

Observa-se que pequenas variações nas variáveis do problema não causam grandes variações na receita líquida total, mostrando, portanto, que o sistema procura novos pontos

ótimos que não estão muito distantes entre eles, caracterizando assim uma boa estabilidade numérica do sistema.

6.6 – Aplicação do modelo para os anos de 1996 e 1997

Na busca de uma situação real do perímetro para compararmos com uma situação criada pelo modelo visando analisar a consistência dos seus resultados, utilizou-se dados de entrada para os anos de 1996 e 1997. Assim, esta situação mostra a diferença entre a receita líquida auferida do perímetro irrigado de Condado nos anos de 1996 e 1997 para uma seleção de culturas, e a receita líquida gerada pelo modelo de otimização constando da operação conjunta do reservatório Engenheiro Arcoverde e do perímetro irrigado no município de Condado para as mesmas culturas, condições hidro-climáticas e período de tempo. Foi imposto ao modelo a restrição de área mínima de irrigação das culturas igual as áreas irrigadas no perímetro nos anos de 1996 e 1997. A capacidade máxima do perímetro em termos de área a irrigar foi adotada como restrição de área máxima. A Tabela 6.37 mostra a diferença entre as receitas líquidas do perímetro nesta época e a receita líquida maximizada pelo modelo, e o quanto aumentou as áreas de irrigação das culturas selecionadas.

6.6.1 – Considerações para a situação

- a) Sustentabilidade hídrica do reservatório – para todas as situações de simulação foi condicionado que o volume no final do último mês de simulação teria que ser maior ou igual ao volume do início da simulação, garantindo assim a sustentabilidade hídrica.
- b) A irrigação das culturas no processo de simulação será feita para os anos de 1996 e 1997 e inicia-se no mês de fevereiro.
- c) Será considerado um volume mínimo para o reservatório, que não poderá ser utilizado na irrigação como medida de garantia para períodos de estiagem, já que o reservatório também abastece os municípios de Condado e Malta.

6.6.2 - Dados de entrada para o reservatório

O perímetro é alimentado pelo reservatório e o modelo computacional foi usado para simular a operação do reservatório tendo por base a equação do balanço hídrico e maximizar a receita líquida obtida com a produção agrícola das culturas irrigadas para comparar com a situação real do perímetro nos anos de 1996 e 1997. O padrão de culturas já existentes no perímetro nestes anos foi o adotado para o modelo. O modelo trabalhou com lâmina de rega fixa e área irrigada variável.

a) **Qa - Vazão mensal afluyente ao reservatório ($m^3/mês$)** - Tabela 6.31

b) **Qd - Vazão média mensal defluente do reservatório ($m^3/mês$)** - esta variável refere-se a vazão média que sai do reservatório para suprir as demandas dos municípios de Condado e Malta, O valor utilizado foi **36.000 $m^3/mês$** fornecido pela Companhia de Água do Estado da Paraíba.

c) **Pr - Precipitação mensal na área do reservatório para 1996-1997 (mm/mês)** - Tabela 6.31

Tabela 6.31 - Valores de dados de entrada para o reservatório.

Q afluyente ($m^3/mês$)			Precipitação(mm)		
Mês	1º ano	2º ano	Mês	1º ano	2º ano
Janeiro	892.800	757.764	Janeiro	72	56,2
Fevereiro	2.689.560	4.388.200	Fevereiro	168,2	219
Março	2.388.240	2.250.800	Março	145,7	115,7
Abril	2.533.320	610.300	Abril	121	46,7
Maio	989.520	0	Maio	62	8,4
Junho	0	0	Junho	25	17,3
Julho	0	0	Julho	11	7,6
Agosto	0	0	Agosto	7	6,1
Setembro	0	0	Setembro	14	8,9
Outubro	154.140	0	Outubro	29	13,1
Novembro	247.380	0	Novembro	35	17,6
Dezembro	0	0	Dezembro	27,6	10,9

Tabela 6.32 - Valores de dados de entrada para o reservatório em 1996-1997

Meses	Evr(mm/mês)	Ar(m ²)
Jan	289,1	2.706.200
Fev	209,4	2.739.700
Mar	170,6	2.976.000
Abr	163,0	3.308.800
Mai	145,1	3.526.600
Jun	191,8	3.533.600
Jul	214,3	3.435.400
Ago	272,6	3.296.500
Set	301,1	3.141.300
Out	346,	2.978.900
Nov	283,6	2.815.500
Dez	297,1	2.966.300

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

Tabela 6.32

a) Kt - Coeficiente de evaporação do tanque - 0,75

b) Vi - Volume inicial do reservatório no processo iterativo (m³) - 17.000.000 m³

c) Vmax - Volume mensais máximos do reservatório (m³) - 35.000.000 m³

d) Vmin - Volume mensais mínimos do reservatório (m³) - 10.000.000 m³

e) Qmxs - Vazão extravasada máxima permitida pelo extravasor do reservatório (m³/s) - 3 m³/s

f) Ae - Área inicial da superfície líquida do reservatório em cada mês (m²) - Tabela 6.32

g) Coeficientes da relação área x volume do reservatório: Ar(i)=km x Vr(i) ^{mm} - km=83,6 e mm=0,637

h) Qmxcanal - máxima vazão que o canal pode transportar - 0,6 m³/s

6.6.3 - Dados de entrada para as culturas implantadas no modelo

Para seleção do tipo de culturas estabelecidas no modelo tomou-se por base as culturas irrigadas no perímetro de Condado e suas respectivas áreas de plantação nos anos

de 1996 e 1997. A seguir mostramos um esquema de como as culturas foram irrigadas durante o ano obedecendo seu ciclo vegetativo.

Tabela 6.33 – Plano cultural anual

Culturas	meses											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
tomate		x	x	x	x							
melancia		x	x	x								
melão		x	x	x								
feijão		x	x	x								
algodão		x	x	x	x							

Obs: Só houve uma safra de cada cultura para os anos de 1996 e 1997.

a) **Nc - Número de culturas fixadas para simulação - 5 .**

b) **Na - Número de anos fixados para a simulação - o modelo simulou e otimizou para 2 anos**

c) **Prod - Produtividade de cada cultura por ano (Kg/ha).**

Tabela 6.34.- Produtividade das culturas em Kg/ha

Culturas	1º ano	2º ano
Tomate	40.000	40.000
Melancia	30.000	30.000
Melão	30.000	30.000
Feijão	1.500	1.500
Algodão	3.000	3.000

d) **Prv - Preço médio unitário da cultura (Kg/ha) - adotamos os seguintes preços com base em dados fornecidos pela administração do perímetro de irrigação de Condado.**

- 1) 0,18 R\$/Kg - tomate
- 2) 0,08 R\$/Kg - melancia
- 3) 0,22 R\$/Kg - melão

- 4) 0,54 R\$/Kg - feijão
 5) 0,89 R\$/Kg - algodão

e) Cpro - Custo médio de produção da cultura (R\$/ha)

Tabela 6.35 - Custo para produção de cada cultura em R\$/ha para o período considerado

Culturas	1º ano	2º ano
Tomate	3.784,19	3.784,19
Melancia	1.397,10	1.397,10
Melão	2.616,91	2.616,91
Feijão	481,72	481,72
Algodão	1.619,33	1.619,33

f) i- taxa anual de desvalorização da moeda - valor zero para variável.

g) Atot - Área total mensal a ser plantada (ha) em cada mês - área total adotada para irrigação foi de **230 ha**.

h) Agmax - Área máxima mensal que pode ser irrigada por gravidade (ha) - neste estudo toda área pode ser irrigada por gravidade, logo adotamos para o modelo **230 ha**.

i) Amax - Área máxima plantada de cada cultura (ha) -

- 1) 30 ha - tomate (safra)
- 2) 50 ha – melancia (safra)
- 3) 40 ha – melão japonês (safra)
- 4) 35 ha – feijão (safra)
- 5) 75 ha – algodão (safra)

j) Amin - Área mínima plantada de cada cultura (ha) -

- 1) 20 ha - tomate (safra)
- 2) 40 ha – melancia (safra)
- 3) 30 ha – melão japonês (safra)
- 4) 20 ha – feijão (safra)
- 5) 30 ha – algodão (safra)

k) Kc - Coeficiente de cultivo das culturas de acordo com seu ciclo fenológico - o modelo simula o balanço hídrico das culturas, por isso temos que estabelecer os

coeficientes de cultivo para cada cultura, de acordo com seu estágio de desenvolvimento. A tabela abaixo está representado as culturas implantadas no modelo com os seus respectivos coeficientes de cultivo durante o ciclo vegetativo.

Tabela 6.36 - Coeficiente de cultivo das culturas

Culturas	Meses											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
tomate		0,45	0,75	1,15	0,8							
melancia		0,7	1	0,75								
melão		0,7	1	0,75								
feijão		0,7	1,1	0,9								
algodão		0,5	0,75	1,15	0,75							

l) Pc - Precipitação média mensal na área irrigável (mm/mês) - Adotamos para este estudo a mesma precipitação da área do reservatório.

m) Evc - Evaporação média mensal medida no tanque de evaporação classe A na área irrigável em cada mês i (mm/mês) - Para este estudo foi adotada a mesma evaporação medida na área do reservatório com o mesmo coeficiente de tanque.

n) Eapl - Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por cultura - de acordo com o sistema de irrigação adotado para a cultura é que se identifica sua eficiência. Por exemplo, a irrigação por aspersão tem eficiência de 60% e a irrigação por sulco tem eficiência em de 40%, de acordo com informações obtidas no próprio perímetro. A seguir descrevemos as culturas selecionadas para o modelo e o sistema de irrigação adotado para cada uma delas.

Culturas	Sistema de irrigação
tomate	sulco
melancia	sulco
melão	sulco
feijão	aspersão
algodão	aspersão

o) Esis - Valor percentual da eficiência do sistema de distribuição (canais e tubulações) para irrigação por cultura - como o sistema de distribuição de água do

reservatório Engenheiro Arcoverde é através de tubulações e canais, fixamos uma eficiência de 70% para o sistema.

p) Hc - Pressão requerida pelo sistema de irrigação da cultura (mca) - de acordo com o sistema de irrigação adotado, pode haver necessidade de pressão nas tubulações para que o sistema de irrigação utilizado em determinada cultura funcione adequadamente, logo, o modelo necessita que se registre esta pressão em mca. Adotou-se os seguintes valores de entrada de acordo com o tipo de irrigação utilizada:

Aspersão – 45 mca

Sulco ou gravidade – 0 mca

6.6.4 – Resultados e discussão

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos para a situação criada, onde foi maximizado o retorno financeiro líquido e obtido a área das culturas selecionadas. Além disso será fornecido o gráfico do comportamento do reservatório (Figura 6.16) ao longo dos meses de simulação para verificar se foi atendida a sustentabilidade hídrica do reservatório e as restrições de volume máximo e mínimo.

Tabela 6.37 - Área irrigada das culturas (ha) e retorno líquido maximizado.

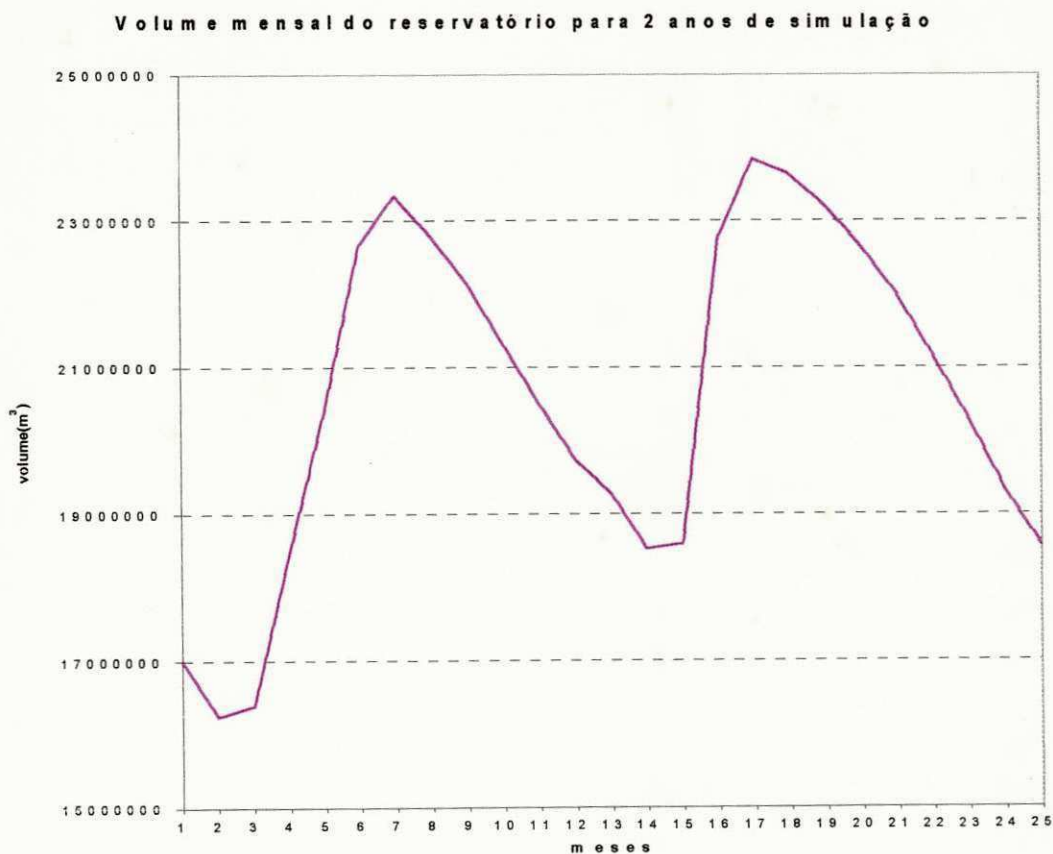
Culturas	situação real	otimização
tomate	20	30
melancia	40	50
melão	30	40
feijão	20	35
algodão	30	75
Receita líquida(R\$)	178.859,60	286.480,00

Os resultados apresentados na Tabela 6.37 mostram que poderia ter sido irrigada uma área maior que as áreas estabelecidas nos anos de 1996 e 1997, e conseqüentemente

aumentado a receita líquida dos irrigantes. Os dados mostram uma diferença de 60% na receita líquida da situação real para a maximizada.

Além da situação otimizada, fornecer uma melhor receita líquida, a Figura 6.16 que mostra o comportamento do volume do reservatório no período estudado, deixa claro que foi garantida a sustentabilidade hídrica do reservatório, ou seja, o volume do reservatório no último mês do período de simulação, $18.572.000\text{m}^3$, ficou maior que o volume que se iniciou, $17.000.000\text{m}^3$, garantindo assim a repetição do processo. Fica bem nítido também na Figura 6.16 que o volume mínimo estipulado de $10.000.000\text{m}^3$ não foi utilizado durante a simulação garantindo uma possível situação de estiagem, e o volume máximo de $35.000.000\text{m}^3$ não foi extrapolado, significando que não houve extravasamento na barragem durante o período de simulação considerado.

Figura 6.17 – Volume mensal do reservatório engenheiro Arcoverde para o período simulado (1996 – 1997)



CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho criou-se três situações de simulação e para estas situações caracterizou-se quatro períodos de ocorrência através de séries móveis pluviométricas de cinco anos, que registram dados mensais, chamadas de ciclo médio, ciclo normal, ciclo seco e ciclo chuvoso, com o propósito de mostrar o comportamento do sistema composto pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, poços Amazonas e o perímetro irrigado de Condado, analisando o volume armazenado no reservatório, o volume aduzido do reservatório e dos poços para irrigação, a restrição de volumes máximo e mínimo de operação do reservatório, o volume inicial ideal de operação do reservatório, a variação da receita líquida quando se altera alguns parâmetros do modelo (análise de sensibilidade) e finalmente a maximização da receita líquida do perímetro associada a restrições de água, custo e mercado.

7.1 – Conclusões

Este trabalho mostra a grande viabilidade dos modelos matemáticos de programação linear envolvendo operação de reservatórios e aspectos de agricultura irrigada, permitindo informações ótimas sobre diversos cenários de simulação. Foi possível através deste trabalho analisar a sustentabilidade hídrica do reservatório Engenheiro Arcoverde para os diversos cenários criados e observar que, na simulação do comportamento do reservatório para o período de cinco anos, a sustentabilidade hídrica do reservatório foi garantida para o ciclo seco com um volume final igual a $17.000.000\text{m}^3$, enquanto que para os outros ciclos a mesma sustentabilidade foi garantida com volume final de até $28.000.000\text{m}^3$, isto se justifica devido ao fato da reserva hídrica do período seco ser pequena que é ocasionado pelo baixo índice de pluviometria e conseqüentemente de baixos afluxos.

O modelo matemático de programação linear recursiva desenvolvido por Curi e Curi (1998) aplicado neste estudo mostra a interligação entre modelos de simulação e otimização tirando partido das vantagens inerentes a cada um destes modelos.

A aplicação do modelo com valores médios de entrada, utilizados nos cenários criados, resulta numa melhor receita líquida, excetuando-se o ciclo chuvoso, visto que a média mantém uma certa uniformidade durante o período de simulação, enquanto que aplicando-se o modelo com dados mensais há uma grande oscilação, em torno do valor médio.

O volume inicial ideal de operação do reservatório para o ciclo normal foi definido em 23.140.000m³ com base na maximização da receita líquida e do critério de sustentabilidade hídrica.

A otimização feita para os anos de 1996 e 1997 apresentou maior quantidade de área irrigada, originando um maior produtividade e, conseqüentemente, uma receita líquida 60% maior que a obtida na mesma época com os dados de cultivo fornecidos pela administração do perímetro. O sistema de irrigação e os tipos de culturas utilizados para aplicação desta metodologia foram considerados iguais aos que foram praticados no período em estudo, no entanto, permitiu-se uma maior flexibilidade na escolha das áreas a serem irrigadas. Isto implica dizer que os irrigantes poderiam irrigar mais áreas e aumentar a receita líquida. Além disso, pelo fato de aplicarem lâminas fixas para as culturas durante todo o ciclo vegetativo das mesmas, deixa um forte indício de haver desperdício de água, já no modelo esta situação é resolvida com o balanço hídrico do solo.

Os resultados apresentados foram consistentes com a formulação do problema e além de explorar a eficiência da programação linear, esta técnica, através da recursividade incorpora na sua solução a natureza intrínseca não-linear do problema.

7.2 - Recomendações

O modelo proposto pode-se estender a problemas com lâminas de rega variáveis, inclusão de demandas para necessidade de lixiviação e a inclusão de taxas financeiras de mercado variáveis. Neste trabalho foi usado dados no modelo de culturas já existentes no

perímetro irrigado, porém, pode-se fazer uso de outro conjunto de culturas que se adaptem bem à região semi-árida e observar a viabilidade em termos de receita líquida.

Pode-se criar outros cenários para a região e fazer a análise destes levando em consideração a intervenções nos afluxos que possam ocorrer a montante do reservatório. Torna-se necessário que o modelo trabalhe com boa qualidade de dados fluviométricos, já que os afluxos são o peso maior em termos de quantidade de água a ser disponibilizada.

Como o modelo foi criado para uma situação já existente, não foi levado em conta a parte de instalação do perímetro, recomenda-se que se implante no modelo este tópico para futuras pesquisas em outras localidades.

Apesar de ter sido desenvolvido para uma região específica, o modelo pode ser aplicado em outras regiões, basta que se façam as mudanças necessárias, como, entrada de dados e equações incorporadas ao modelo que necessitem ser modificadas, por exemplo, a equação para o cálculo da precipitação efetiva sofre variações de acordo com a região a ser estudada.

Como tópico para futuras pesquisas recomenda-se o desenvolvimento de modelos em que tanto a área quanto a lâmina de rega possam ser consideradas variáveis, onde o aspecto da não linearidade torna complexo a resolução do problema.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 1987. Hidrologic Modeling of Small Watersheds.
- ATECEL (Associação Técnico Científica Ernesto Luís de Oliveira Júnior), 1998. Estudo da Potencialidade Hídrica do Açude Engenheiro Arcoverde, Campina Grande, UFPB.
- ANDRADE, EDUARDO LEOPOLDINO DE. 1989. Introdução a Pesquisa Operacional- Editora Livros Técnicos e Científicos.
- BARTH, FLÁVIO TERRA ..et al. 1987. Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos-Coleção ABRH de Recursos Hídricos -Vol. I.-Editora Nobel/ABRH.
- CURI, W.F., CURI, R.C e CELESTE, A.B. 1996. Um modelo de Operação Ótima de Reservatórios sujeito a múltiplos usos. III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador-BA.
- CURI, W.F., CURI, R.C e CELESTE, A.B. 1997. Alocação Ótima da água do Reservatório Engenheiro Arcoverde para Irrigação via Programação Não Linear. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória-ES.
- DESTANE, N.G. 1974. Effective Rainfall in Agriculture, Roma, FAO, Irrigation and Drainage, Paper, No. 25.
- DOORENBOS, J. E PRUITT, W.O. 1977. Crop Water Requirements, Roma, FAO, Irrigation and Drainage Paper, No. 24.

- DOORENBOS, J. E PRUITT e KASSAM, A H. 1994. Efeito da água no rendimento das culturas, ed. GHEYI, H.R. et al , Campina Grande, UFPB.
- FRITZCHE, HELMUT. 1978. Programação Não Linear: análises e métodos-Editora Edgard Blucher.
- GOMES, H. P. 1997. Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados Aspersão e Gotejamento, Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 2a. Edição.
- LANNA, A. E. 1997. Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos, In: PORTO, RUBEM LA LAINA. Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade, UFRGS:ABRH. p.15-25.
- MAIA NETO, R.F. 1997. Água para o desenvolvimento sustentável, A Água em Revista, Ano V, No. 9. p. 21-32.
- MATEUS, GERALDO ROBSON, LUNA, HENRIQUE PACCA LOUREIRO. 1986. Programação Não Linear-Editora V Escola de Computação: UFMG.
- MOLLE, F. 1992. Marcos históricos e Reflexões sobre Açudagem e seu Aproveitamento, SUDENE, DPG, PRN, Recife.
- MOLLE, F. 1989. Perdas por Evaporação e Infiltração em Pequenos Açudes, Série Hidrológica No. 25, SUDENE, Recife, PE.
- OLIVEIRA, J. A. E LANNA, A. E. 1997. Otimização de um sistema de múltiplos reservatórios atendendo a múltiplos usos no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH: Porto Alegre.

PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO. 1997. Manual de Orçamentos Agropecuários, CENOP-CDE-COVAT/Banco do Nordeste, C. Grande, PB.

PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO. 1994. Plano Estadual de Recursos Hídricos - ATECEL/ UFPB - Campina Grande, PB.

PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO. 1995-97. Hidroinforme - Boletim de Monitoramento de Açudes da Paraíba-LRMS/PB-Volumes I, II, III.

PORTO, RUBEM LA LAINA ..et al. 1997. Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos-Editora Universidade/UFRGS/ ABRH

PROJETO ENGENHEIRO ARCOVERDE. 1971. Aproveitamento Hidro-Agrícola do Açude Público Engenheiro Arcoverde-Pb, DNOCS Vol. I

PUCCINI, A L. PIZZOLATO, N.D. 1987. Programação Linear - Editora Livros Técnicos - Rio de Janeiro.

RAMOS, FÁBIO ..et al. 1989. Engenharia Hidrológica-Coleção ABRH de Recursos Hídricos- Vol II; Editora da UFRJ.

RIBEIRO, M. M. R. 1990. Operação de reservatórios para usos de conservação.-Campina Grande: Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba, LMRS-PB.

REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS-RBRH. 1997. -Vol II No. 2 julho/dezembro

TUCCI, C.E.M. 1997. Hidrologia: Ciência e aplicação - Volume IV, 2ª edição-ABRH- Editora da Universidade-UFRGS-Porto Alegre

WHITE, G.F. 1978. Environmental effects of arid land irrigation in developing countries, UNESCO, Paris.

WURBS, R. A. 1993. Reservoir-System simulation and optimization models. Texas: Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 119(4), pp.455-472.