

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DETERMINAÇÃO E ANÁLISE DE INDICADORES DE DESEMPENHO E DE SUSTENTABILIDADE DE  
SEIS AÇUDES NA BACIA DO RIO PIANCÓ-PB E DE SUAS POTENCIAIS DEMANDAS**

**ALCIDNEY BATISTA CELESTE**

**CAMPINA GRANDE-PB  
FEVEREIRO DE 2006**

---

**ALCIDNEY BATISTA CELESTE**

**DETERMINAÇÃO E ANÁLISE DE INDICADORES DE DESEMPENHO E DE SUSTENTABILIDADE DE SEIS AÇUDES NA BACIA DO RIO PIANCÓ-PB E DE SUAS POTENCIAIS DEMANDAS**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia de Recursos Hídricos, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**ORIENTADORES: ROSIRES CATÃO CURI  
WILSON FADLO CURI**

---

**CAMPINA GRANDE-PB  
FEVEREIRO DE 2006**

---



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

C392d Celeste, Alcidney Batista  
2006 Determinação e análise de indicadores de desempenho e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do rio Piancó – PB e de suas potenciais demandas / Alcidney Batista Celeste. — Campina Grande, 2006.

119f. : il.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Rosires Catão Curi.

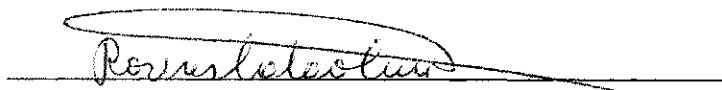
1— Recursos Hídricos – Indicadores de desempenho 2— Recursos Hídricos - Sustentabilidade 3— Recursos Hídricos – Otimização - Simulação I— Título

CDU 556.55

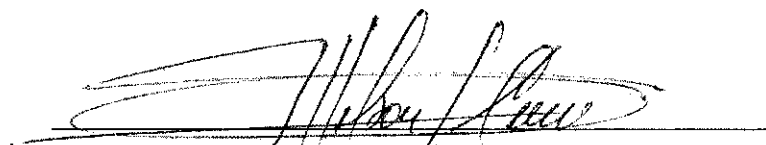
ALCIDNEY BATISTA CELESTE

**DETERMINAÇÃO E ANÁLISE DE INDICADORES DE DESEMPENHO E DE SUSTENTABILIDADE DE SEIS AÇUDES NA BACIA DO RIO PIANCÓ-PB E DE SUAS POTENCIAIS DEMANDAS**

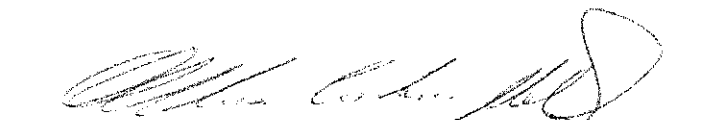
APROVADA EM \_\_\_\_\_



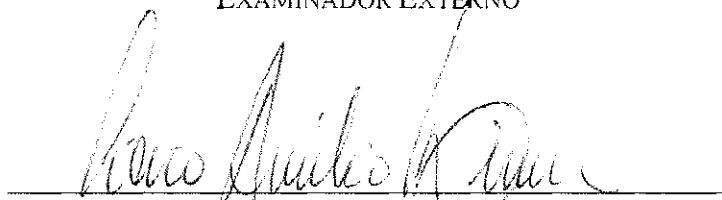
Dra. ROSIRES CATÃO CURI (UAEC/UFCG)  
ORIENTADORA



Dr. WILSON FADLO CURI (DF/UFCG)  
ORIENTADOR



Dr. OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO (UNb)  
EXAMINADOR EXTERNO



Dr. CÍCERO AURÉLIO GRANJEIRO LIMA (UFCG)  
EXAMINADOR INTERNO

**CAMPINA GRANDE-PB  
FEVEREIRO DE 2006**



## DEDICATÓRIA

Aos meus pais amados, Alcides Celeste dos Santos e Geralda Batista dos Santos e meus valiosos irmãos, Alcigeimes, Aléssio e Nara DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao senhor Deus, por me dar a vida, saúde e oportunidades de guiar os meus passos, sempre.

Aos meus amados pais, meus irmãos e minha irmã, pelo amor, apoio e incentivo em mais uma etapa da minha vida.

Aos professores Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi, pela sábia orientação e disposição em colaborar durante todo o trabalho.

A todos os professores da Área de Recursos Hídricos, pela formação que recebi e pelos novos conhecimentos adquiridos.

Aos meus queridos amigos de turma, Clédson, Érica, Leonardo, Myrla, Renato e Simone.

A Roberta Lima Barbosa pela valiosa colaboração durante o decorrer do trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Ismael, Haroldo, Vera, Aurezinha, Raul, Valdomiro, Ronaldo e Lindimar.

A minha amiga Josete, secretária da coordenação do curso, pelo apoio na parte administrativa.

Aos meus grandes amigos, Paulo Medeiros e José Rosenilton pela amizade e apoio que sempre recebi deles.

Aos novos colegas e amigos que estão iniciando suas pesquisas este ano, Allan, Mosefran, Valterlin, Júlio (gaúcho), Gracieli e Marcos Jr. pela amizade e momentos agradáveis compartilhados.

A CAPES, pelo suporte financeiro durante a vigência do curso.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram e acrescentaram para a concretização deste trabalho.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Temperatura média mensal (°C), Número Mensal Médio de Horas Diárias de Insolação, Médias Mensais da Umidade Relativa do Ar (%), Velocidade Média Mensal do Vento (m/s).....	21
Tabela 3.2 - Dados de evaporação média mensal do Tanque Classe A, precipitação média mensal obtida através do método de Thiessen para a bacia do Rio Piancó (mm).....	22
Tabela 3.3 – Resumo das Classes de capacidade de uso do solo na bacia.....	23
Tabela 3.4 – Resumo das Classes de uso do solo na bacia.....	23
Tabela 3.5- Média das características das culturas com receita líquida positiva.....	28
Tabela 3.6 – Distribuição dos coeficientes de cultivo médios (Kc) com receita líquida positiva.....	28
Tabela 3.7 – Relações Cota x Volume dos reservatórios.....	29
Tabela 3.8 – Relações Área x Cota dos reservatórios.....	29
Tabela 3.9 – Relações Volume x Cota dos reservatórios.....	29
Tabela 3.10 – Volumes máximo e mínimo dos açudes.....	30
Tabela 3.11 - Dados das tomadas d'água usados para obtenção das vazões mensais a serem liberados pelos reservatórios.....	31
Tabela 3.12 - Parâmetros adotados para estimativa das vazões vertentes máximas.....	31
Tabela 7.1 - Áreas irrigadas e Receitas líquidas – Cenário (CA1) - Condado.....	54
Tabela 7.2 – Plano Cultural utilizado.....	55
Tabela 7.3- Resultados operacionais do sistema (CA1) - Condado.....	56
Tabela 7.4 - Áreas irrigadas e Receitas Líquidas - Cenário (CA1) – Santa Inês.....	57
Tabela 7.5 - Resultados operacionais do sistema (CA1) – Santa Inês.....	58
Tabela 7.6 - Áreas irrigadas e Receitas Líquidas – Cenário (CA1) – Serra Vermelha I.....	59
Tabela 7.7 - Resultados operacionais do sistema (CA1) – Serra Vermelha I.....	60
Tabela 7.8 - Áreas irrigadas e Receitas Líquidas - Cenário (CA1) - Piranhas.....	61
Tabela 7.9 - Resultados operacionais do sistema (CA1) - Piranhas.....	62
Tabela 7.10 - Áreas irrigadas e Receitas - Cenário (CA1) - Vídeo.....	64
Tabela 7.11 - Resultados operacionais do sistema (CA1) - Vídeo.....	65
Tabela 7.12- Áreas irrigadas e Receitas - Cenário (CA1) - Vazante.....	66
Tabela 7.13 - Resultados operacionais do sistema (CA1)- Vazante.....	67
Tabela 7.14 – Área obtida no Cenário Seco – Irrigando só cultura perene.....	68
Tabela 7.15 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - CONDADO.....	70

Tabela 7.16 - Resultados operacionais do sistema - Condado.....	70
Tabela 7.17 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - SANTA INÊS.....	71
Tabela 7.18 - Resultados operacionais do sistema – Santa Inês.....	72
Tabela 7.19- Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - SERRA VERMELHA I.....	73
Tabela 7.20 - Resultados operacionais do sistema – Serra Vermelha I.....	74
Tabela 7.21- Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - PIRANHAS.....	75
Tabela 7.22 - Resultados operacionais do sistema - Piranhas.....	75
Tabela 7.23 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - VIDÉO.....	76
Tabela 7.24 - Resultados operacionais do sistema - Video.....	77
Tabela 7.25 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - VAZANTE.....	78
Tabela 7.26 - Resultados operacionais do sistema.....	78
Tabela 7.27 - Área das culturas perenes – Cenário Seco.....	79
Tabela 7.28 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - CONDADO.....	80
Tabela 7.29 - Resultados operacionais do sistema - Condado.....	80
Tabela 7.30 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - SANTA INÊS.....	81
Tabela 7.31- Resultados operacionais do sistema – Santa Inês.....	82
Tabela 7.32 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - SERRA VERMELHA I.....	83
Tabela 7.33 - Resultados operacionais do sistema – Serra Vermelha I.....	84
Tabela 7.34 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - PIRANHAS.....	84
Tabela 7.35 - Resultados operacionais do sistema - Piranhas.....	85
Tabela 7.36 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - VIDEO.....	86
Tabela 7.37 - Resultados operacionais do sistema - Video.....	86
Tabela 7.38- Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - VAZANTE.....	87
Tabela 7.39 - Resultados operacionais do sistema.....	88
Tabela 7.40 – Resultados da Simulação para cada reservatório.....	89
Tabela 7.41 – Indicadores de Desempenho dos reservatórios.....	90

Tabela 7.42 – Disponibilidades e Potencialidades das bacias de contribuição dos reservatórios.....	91
Tabela 7.43 – Demandas de abastecimento e de irrigação dos reservatórios.....	91
Tabela 7.44 – Indicadores de Sustentabilidade das bacias de contribuição dos reservatórios.....	92
Tabela 7.45 – Referentes aos reservatórios.....	93
Tabela 7.46 – Indicadores de Vulnerabilidades das bacias de contribuição dos reservatórios.....	93
Tabela 7.47 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - CONDADO.....	94
Tabela 7.48 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário Médio -CONDADO.....	94
Tabela 7.49 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - SANTA INÊS.....	95
Tabela 7.50 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário Médio -SANTA INES.....	95
Tabela 7.51 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - S. VERMELHA I.....	96
Tabela 7.52 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário Médio - SERRA VERMELHA I.....	96
Tabela 7.53 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - PIRANHAS.....	97
Tabela 7.54 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário Médio -PIRANHAS.....	97
Tabela 7.55 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - VIDÉO.....	98
Tabela 7.56 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário Médio -VIDÉO.....	98
Tabela 7.57- Resultados da otimização - Melhor cenário médio - VAZANTE.....	99
Tabela 7.58- Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário Médio -VAZANTE.....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização da bacia do Rio Piancó.....	20
Figura 3.2 – Layout dos sistemas de reservatórios.....	25
Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia utilizada.....	36
Figura 5.1 – Fluxograma do Modelo de Otimização - ORNAP.....	46
Figura 6.1 – Exemplo de traçado de uma rede.....	48
Figura 6.2 – Tela de Definições Gerais.....	51
Figura 6.3 – Entrada/edição de dados do reservatório.....	51
Figura 6.4 – Tela de Planilha de Resultados do Modelo ACQUANET.....	53
Figura 7.1 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	55
Figura 7.2 – Resultados operacionais para ISH iguais a 60% e 40%.....	56
Figura 7.3 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	57
Figura 7.4 – Resultados operacionais – ISH igual a 40%.....	58
Figura 7.5 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	59
Figura 7.6 – Resultados Operacionais – ISH igual a 40%.....	60
Figura 7.7 – Áreas irrigadas e Receitas Líquidas.....	61
Figura 7.8 – Resultados Operacionais – ISH de 40%, 60% e 80%.....	63
Figura 7.9 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	64
Figura 7.10 – Resultados operacionais – ISH igual a 40%.....	65
Figura 7.11 – Áreas irrigadas e Receitas Líquidas.....	66
Figura 7.12 – Resultados operacionais – ISH igual a 40%.....	67
Figura 7.13 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	70
Figura 7.14 – Resultados operacionais – Mês inicial - JULHO.....	70
Figura 7.15 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	72
Figura 7.16 – Resultados operacionais – Mês inicial - AGO.....	72
Figura 7.17 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	73
Figura 7.18 – Resultados operacionais – Mês inicial - NOV.....	74
Figura 7.19 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas.....	75
Figura 7.20 – Resultados operacionais – Mês inicial - AGO.....	75
Figura 7.21 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	77
Figura 7.22 – Resultados operacionais – Mês inicial - FEV.....	77
Figura 7.23 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	78
Figura 7.24 – Resultados operacionais – Mês de início - DEZ.....	78
Figura 7.25 – Área irrigadas e Receitas líquidas.....	80
Figura 7.26 – Resultados operacionais – Mês de início - JUL.....	80
Figura 7.27 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	82
Figura 7.28 – Resultados operacionais – Mês inicial - OUT.....	82
Figura 7.29 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	83
Figura 7.30 – Resultados operacionais – Mês de início - OUT.....	83
Figura 7.31 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	85
Figura 7.32 – Resultados operacionais – Mês início - AGO.....	85
Figura 7.33 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	86
Figura 7.34 – Resultados operacionais – Mês de início - SET.....	86
Figura 7.35 – Áreas irrigadas e receitas líquidas.....	88
Figura 7.36 – Resultados operacionais – Mês de início - DEZ.....	88
Figura 7.37 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude CONDADO.....	94
Figura 7.38 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude STa. INÉS.....	95
Figura 7.39 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude S. VERMELHA I.....	96
Figura 7.40 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude PIRANHAS.....	97
Figura 7.41 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude VIDÉO.....	98
Figura 7.42 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude VAZANTE.....	99

## RESUMO

As conseqüências do desenvolvimento econômico, em especial, o aumento da intensidade e variedade dos usos dos recursos hídricos promove o desequilíbrio entre a demanda e a oferta de água, causando constantes conflitos entre usuários, principalmente em regiões com escassez de recursos. Tais conflitos, aliados à necessidade de planejamento e operação integrados e as restrições impostas aos respectivos sistemas têm tornado difícil a tarefa de se estabelecer políticas operacionais eficientes.

Este trabalho investigou o planejamento e operação de seis sistemas de reservatórios individualmente, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Piancó na região semi-árida do Estado da Paraíba. O objetivo foi verificar o uso potencial dos seus recursos hídricos para irrigação, e com isso calcular alguns indicadores que contemplem a sustentabilidade desses sistemas. Também foram calculados indicadores de desempenho das áreas potencialmente irrigadas por tais sistemas e os indicadores de sustentabilidade e vulnerabilidade das bacias de contribuição de cada um deles.

Neste estudo, trabalhou-se com cenários hidrológicos e agrícolas. Sob tais cenários otimizou-se o uso das águas dos seis reservatórios individualmente para práticas de irrigação. Para cada cenário foi utilizado um modelo de otimização não linear que teve a finalidade de alocar as áreas ótimas das culturas e definir a quantidade de água a ser retirada em cada mês do ano de cada reservatório. Posteriormente, aplicou-se um modelo de simulação para estudar o comportamento de cada sistema de forma a atender as demandas hídricas ótimas obtidas do modelo de otimização. Com os resultados da simulação foi possível calcular os indicadores de sustentabilidade dos sistemas: *Confiabilidade*, *Resiliência* e *Vulnerabilidade*. Os resultados demonstraram que três dos seis sistemas atendem razoavelmente as demandas impostas pelo modelo de otimização obtendo resultados de Confiabilidade acima de 76%. No entanto, os outros três reservatórios não obtiveram resultados tão bons para este indicador, variando de 36,2% a 45,4%, demonstrando alto percentual de falhas. Dentre os seis reservatórios, cinco deles apresentaram baixa resiliência, ou seja, baixa capacidade de recuperação quando em estado de falha. Já em relação à vulnerabilidade, os valores obtidos refletiram as características climáticas de regiões semi-áridas nas quais, quando há falhas, o déficit hídrico é considerável, e variaram em média de 75,3% a 94,6% do volume demandado. Quanto à sustentabilidade das bacias de contribuição dos reservatórios, os dados de disponibilidades hídricas para o cálculo dos índices requerem

mais averiguações, uma vez que se obtiveram valores incoerentes para alguns índices. Os resultados dos indicadores de desempenho das áreas potencialmente irrigadas pelos reservatórios apresentaram-se satisfatórios em relação aos valores ideais.



## ABSTRACT

The consequences of economic development, especially the increase in the intensity and variety of water resources uses promote the disequilibrium between demand and supply, causing constant conflicts among users, mainly in regions with scarcity of resources. Such conflicts, together with the necessity for integrated planning and operation as well as the restrictions imposed to the systems make it difficult to establish efficient operational policies.

This work has investigated the planning and operation a six-reservoir system, located within the Piancó River basin in the semiarid region of the State of Paraíba. The objective has been to verify the potential use of their water resources for irrigation and evaluate their sustainability criteria. Performance estimates for the areas potentially irrigated by such reservoirs as well as sustainability and vulnerability measures for their contribution basins have also been calculated.

In this study, hydrological and agricultural scenarios have been taken into account. Under such scenarios, the water use of each reservoir for irrigation purposes has been optimized. For each scenario, a nonlinear optimization model has been applied in order to define the optimal cropping areas and the amount of water to be allocated at each month by each reservoir. Later, a simulation model to study the system's behavior in order to meet the optimal demands found by the optimization model has been applied. With the outcomes from the simulation process, sustainability criteria for the reservoirs, namely, *reliability*, *resiliency* and *vulnerability* have been estimated. The results showed that three of the six reservoirs properly met the demands proposed by the optimization model and obtained reliability levels higher than 76%. However, the other three have achieved levels varying only between 36.2% and 45.4%, demonstrating a high failure percentage. Five of the six reservoirs provided low resiliency, i.e., low recovery capacity from failures. As for vulnerability, the obtained values reflected the climate characteristics of semiarid regions, in which the water deficit is high when failures occur, and varied in average from 75.3% to 94.6% of the demands. Concerning the sustainability of the reservoir contribution basins, the data of water availability for the calculation of the criteria require more inspections given the fact that some incoherent values were obtained. The performance indicators for the potentially irrigated areas were satisfactory as compared to the ideal ones.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	II
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	VI
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
1.1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVO GERAL.....	2
1.3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 - ANÁLISE DE SISTEMAS - CONCEITUAÇÕES.....	4
2.2 - ENFOQUE AO PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO EM SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS ....	5
2.2.1 - QUANTO À OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS.....	5
2.2.2 - SIMULAÇÃO.....	6
2.2.3 - OTIMIZAÇÃO.....	7
2.3 - INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS.....	11
2.3.1 - CONFIABILIDADE.....	13
2.3.2 - RESILIÊNCIA.....	14
2.3.3 - VULNERABILIDADE.....	14
2.4 - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E VULNERABILIDADE DE BACIAS.....	14
2.4.1 - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....	15
2.4.1.1 - ÍNDICE DE ATIVAÇÃO DA POTENCIALIDADE - (IAP).....	15
2.4.1.2 - ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE - (IUD).....	15
2.4.1.3 - ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA POTENCIALIDADE - (IUP).....	16
2.4.2 - INDICADORES DE VULNERABILIDADE.....	16
2.4.2.1 - RELAÇÃO S/Q.....	16
2.4.2.2 - RELAÇÃO D/Q.....	16
2.4.2.3 - RELAÇÃO $Q_{\min}/Q_{\max}$ .....	16
2.5 - INDICADORES DE DESEMPENHO DE ÁREAS/PERÍMETROS IRRIGADOS.....	16
2.5.1 - INDICADORES DO BALANÇO HÍDRICO.....	16
2.5.1.1 - FORNECIMENTO RELATIVO DE ÁGUA - (FRA).....	17
2.5.1.2 - FORNECIMENTO RELATIVO DE IRRIGAÇÃO - (FRI).....	17
2.5.1.3 - RAZÃO GLOBAL DE CONSUMO - (RGC).....	18
2.5.1.4 - FORNECIMENTO MÉDIO DE ÁGUA - (FMA).....	18
<b>CAPÍTULO III - A BACIA HIDROGRÁFICA E OS RESERVATÓRIOS EM ESTUDO.....</b>	<b>19</b>
3.1 - A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ.....	19
3.1.1 - LOCALIZAÇÃO.....	19
3.1.2 - CLIMATOLOGIA.....	19
3.1.3 - PEDOLOGIA.....	22
3.1.3.1 - CAPACIDADE DE USO DO SOLO.....	22

3.1.4 - COBERTURA VEGETAL.....	23
3.2 - DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS EM ESTUDO.....	24
3.2.1 - O AÇUDE CONDADO.....	24
3.2.2 - O AÇUDE SANTA INÊS.....	24
3.2.3 - O AÇUDE SERRA VERMELHA I.....	24
3.2.4 - O AÇUDE PIRANHAS.....	25
3.2.5 - O AÇUDE VIDÉO.....	25
3.2.6 - O AÇUDE VAZANTE.....	25
3.3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HIDRÁULICAS DOS RESERVATÓRIOS.....	26
3.3.1 - PRECIPITAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS.....	26
3.3.2 - VAZÕES AFLUENTES AOS RESERVATÓRIOS.....	26
3.3.3 - EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS.....	27
3.3.4 - DEMANDAS.....	27
3.3.4.1 - ABASTECIMENTO URBANO.....	27
3.3.4.2 - IRRIGAÇÃO.....	27
3.3.5 - RELAÇÕES COTA X ÁREA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS.....	28
3.3.6 - VOLUMES MÁXIMOS E MÍNIMOS.....	30
3.3.7 - VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS NO RIO.....	30
3.3.7 - DESCARREGADOR E VERTEDOUROS.....	30
<b>CAPÍTULO IV - METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>32</b>
4.1 - CENÁRIOS HIDROLÓGICOS.....	32
4.1.1 - CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO.....	32
4.1.2 - CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO.....	32
4.2 - CENÁRIOS AGRÍCOLAS.....	32
4.2.1 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO.....	33
4.2.1.1 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) - <i>Perenes + Sazonais</i> .....	33
4.2.1.2 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA2) - <i>Só Culturas Perenes</i> .....	33
4.2.2 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO.....	33
4.2.2.1 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) - <i>Perenes + Sazonais</i> .....	33
4.2.2.2 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA3) - <i>Perene Fixa (Cenário Seco) + Sazonais</i> .....	33
4.3 - INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA.....	33
4.3.1 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO.....	34
4.3.2 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO.....	34
4.4 - CONDIÇÕES DE MÊS INICIAL.....	34
4.5 - APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO.....	35
4.6 - APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	35
<b>CAPÍTULO V - O MODELO DE OTIMIZAÇÃO - ORNAP.....</b>	<b>37</b>
5.1 - CONCEITUAÇÕES.....	37
5.2 - ASPECTOS TEÓRICOS.....	38
5.2.1 - DA AGRICULTURA IRRIGADA.....	38
5.2.2 - DOS RESERVATÓRIOS E SEUS COMPONENTES.....	42
5.2.3 - OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA.....	44
5.2.4 - ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DA OTIMIZAÇÃO.....	45
5.3 - FLUXOGRAMA DO MODELO.....	45

<b>CAPÍTULO VI - O MODELO DE SIMULAÇÃO - ACQUANET</b> .....	47
6.1 - GENERALIDADES.....	47
6.2 - TIPOS DE SIMULAÇÃO.....	49
6.2.1 - SIMULAÇÃO CONTÍNUA.....	49
6.2.2 - PLANEJAMENTO TÁTICO.....	49
6.3 - OPÇÕES DE CÁLCULO.....	50
6.4 - DEFINIÇÕES GERAIS.....	50
6.5 - ENTRADA/EDIÇÃO DE DADOS.....	50
6.6 - RESULTADOS.....	52
<b>CAPÍTULO VII - RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	54
7.1 - RESULTADOS DAS OTIMIZAÇÕES DO CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO.....	54
7.1.1 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) - <i>Perene + Sazonais</i> .....	54
7.1.1.1 - PARA O AÇUDE CONDADO.....	54
7.1.1.2 - PARA O AÇUDE SANTA INÊS.....	57
7.1.1.3 - PARA O AÇUDE SERRA VERMELHA I.....	59
7.1.1.4 - PARA O AÇUDE PIRANHAS.....	61
7.1.1.5 - PARA O AÇUDE VIDÉO.....	64
7.1.1.6 - PARA O AÇUDE VAZANTE.....	66
7.1.2 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA2).....	67
7.2 - RESULTADOS DAS OTIMIZAÇÕES DO CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE MÊS INICIAL.....	68
7.2.1 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) - <i>Perene + Sazonais</i> .....	69
7.2.1.1 - PARA O AÇUDE CONDADO.....	69
7.2.1.2 - PARA O AÇUDE SANTA INÊS.....	71
7.2.1.3 - PARA O AÇUDE SERRA VERMELHA I.....	72
7.2.1.4 - PARA O AÇUDE PIRANHAS.....	74
7.2.1.5 - PARA O AÇUDE VIDÉO.....	76
7.2.1.6 - PARA O AÇUDE VAZANTE.....	77
7.2.2 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA3) - <i>Fixando área para as perenes obtidas no cenário Seco e     otimizando as sazonais</i> .....	79
7.2.2.1 - PARA O AÇUDE CONDADO.....	79
7.2.2.2 - PARA O AÇUDE SANTA INÊS.....	81
7.2.2.3 - PARA O AÇUDE SERRA VERMELHA I.....	82
7.2.2.4 - PARA O AÇUDE PIRANHAS.....	84
7.2.2.5 - PARA O AÇUDE VIDÉO.....	85
7.2.2.6 - PARA O AÇUDE VAZANTE.....	87
7.3 - RESULTADOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO E INDICADORES DE DESEMPENHO DOS RESERVATÓRIOS.....	88
7.4 - RESULTADOS DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E VULNERABILIDADE DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.....	91
7.5 - RESULTADOS DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DAS ÁREAS IRRIGADAS PELAS ÁGUAS DOS RESERVATÓRIOS.....	93
<b>CONCLUSÕES</b> .....	101
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	105
<b>ANEXOS</b> .....	110

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

#### 1.1 - INTRODUÇÃO

Segundo a ONU, o uso da água aumentou um sexto no último século (acima do dobro do crescimento populacional). Mais de 18% da população mundial (1,1 bilhão de pessoas) não tem acesso ao fornecimento de água. Prevê-se que, em 2025, dois terços dos habitantes do planeta (5,5 bilhões de pessoas) viverão em locais que sofrerão com enchentes ou secas, provavelmente ligadas às alterações climáticas.

A crescente demanda por recursos hídricos e as alterações qualitativas que a água sofre ao longo das transformações que a mesma passa devido ao ciclo hidrológico e às interferências do homem, trazem algumas limitações ao uso da água.

O aumento da intensidade e variedade dos usos dos recursos hídricos, causado pelo desenvolvimento econômico, promovem o desequilíbrio entre a demanda e a oferta de água, causando constantes conflitos entre usuários, principalmente em regiões com escassez desses recursos. Tais conflitos, aliados à necessidade de planejamento e operação integrados e às restrições impostas aos respectivos sistemas têm tornado difícil a tarefa de se estabelecerem políticas operacionais eficientes. Segundo Lanna (1997) *apud* Lima (2004), esses conflitos podem ser: conflitos de destinação de uso e conflitos de disponibilidades quantitativas e/ou qualitativas. Um processo privilegiado para dirimir esses conflitos é a negociação. Entretanto, é preciso o conhecimento do impacto causado pelas diversas alternativas e os benefícios associados às mesmas.

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

Segundo Vianna Junior e Lanna (2004), para se modificar esse caráter sazonal, uma das alternativas passíveis de adoção é a construção e operação de reservatórios, que, basicamente, tem como princípio de funcionamento a formação de reservas no período das chuvas e o uso dessas reservas no período de escassez. Devido à características de múltiplos usos dos

reservatórios e do seu caráter conflitante, faz-se necessária a adoção de regras operacionais que contemplem todos esses usos, perante um quadro de objetivos gerais e futuros. No entanto, em quadro de existência prévia de um sistema, a adoção de medidas não-estruturais, como uma operação mais eficiente, é muitas vezes mais válida economicamente que a adoção de medidas estruturais, como a construção de outros reservatórios. De acordo com Lima (2004), a prática desta política não funciona, devido principalmente: aos grandes investimentos para implantação dessas obras, associados aos altos custos com desapropriações e a relocação da população, sem contar que algumas bacias hidrográficas já se encontram no seu limite de disponibilidade hídrica superficial.

Na Paraíba pode-se citar como um exemplo de intervenções em bacias hidrográficas, sem o devido planejamento integrado dos recursos hídricos, a bacia do açude Sumé, situado na região mais carente em termos de água, onde a implantação de um reservatório a montante, condenou o açude Sumé a não mais acumular água suficiente para atender a demanda hídrica da região (Lima, 2004).

Portanto, torna-se imprescindível que os benefícios advindos das obras hidráulicas já existentes sejam otimizados, a fim de que maiores parcelas da sociedade possam ser atendidas, resultando em uso mais eficiente e racional das disponibilidades hídricas. Nesse contexto, reservatórios fluviais são os mais importantes elementos que compõem os sistemas de aproveitamento de recursos hídricos superficiais (Andrade, 2000).

## **1.2 - OBJETIVO GERAL**

O objetivo do trabalho é estudar o comportamento e pesquisar a viabilidade do uso otimizado dos recursos hídricos, com irrigação, de seis açudes inseridos na bacia hidrográfica do rio Piancó e, com isso, determinar indicadores de sustentabilidade desses reservatórios, das áreas potencialmente irrigadas por suas águas e das suas respectivas bacias de contribuição.

## **1.3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Dentre os objetivos específicos, podem ser citados:

1.3.1 - Verificar os usos atuais das águas dos reservatórios;

1.3.2 - Determinar cenários hidrológicos e cenários agrícolas relevantes e, para cada um deles, determinar os volumes mensais a serem alocados com irrigação, estado dos reservatórios a cada mês, e ganhos financeiros otimizados com a agricultura irrigada;

- 1.3.3 - Determinar qual seria a máxima área com culturas perenes que deveria ser irrigada sem que houvesse risco de perdas por déficit hídrico em anos de seca;
- 1.3.4 - Determinar, com base na máxima área passível de irrigação com culturas perenes, o que mais poderia ser irrigado em termos de culturas agrícolas sazonais;
- 1.3.5 - Averiguar as condições de sustentabilidade hídrica do uso dos reservatórios para fins de irrigação em anos de seca;
- 1.3.6 - Verificar quais são os efeitos de mudança no mês inicial do processo nos resultados do modelo de otimização e determinar para qual mês inicial se obtiveram as maiores área irrigadas.
- 1.3.7 - Averiguar com uso de um modelo de simulação, os indicadores de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade dos reservatórios, a partir dos melhores resultados obtidos no processo de otimização;
- 1.3.8 - Determinar a situação das bacias de contribuição aos seis reservatórios em termos de sustentabilidade e vulnerabilidade, com base em indicadores calculados para situações antes e depois da otimização do uso das águas dos reservatórios, propostos nesta pesquisa;
- 1.3.9 - Determinação dos valores de alguns indicadores de desempenho das áreas irrigadas caso fosse adotada a proposta desta pesquisa;

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - ANÁLISE DE SISTEMAS - CONCEITUAÇÕES

O vocábulo *sistema*, representando conjunto organizado de elementos e de interação entre os elementos, possui uso antigo e difuso no conhecimento científico. Todavia, a preocupação em se realizar uma abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa surgiu explicitamente na década de 30 (Christofoletti, 1999).

A análise de sistema constitui um procedimento para examinar a inteireza da modelagem empregada. A modelagem, como procedimento técnico de abordagem visa atender requisitos envolvidos nas diretrizes metodológica da pesquisa científica. Os modelos são necessários por constituírem pontes entre níveis da observação e as proposições teóricas (Christofoletti, 1999).

O uso pleno da análise de sistemas é, todavia, instrumento poderoso e amplamente aplicável ao desenvolvimento de modelos de todos os tipos. As categorias dos modelos para análise de sistemas são: 1) *Modelos matemáticos*, que eventualmente são representados sob formas de equações matemáticas, 2) *Modelos de sistemas*, denominados também como esquemas lógicos, que procuram representar a estrutura do sistema e identificar os elementos, fluxos e retro-alimentações, 3) *Modelos preditivos* que, construídos como imagens de sistema, como matrizes de relações entre os elementos de um sistema espacial, prevêm sua evolução quando se modificam alguns parâmetros e 4) *Modelos gráficos*, ou mais adequadamente cromáticos, que representam a estrutura de um espaço determinado, de um campo geográfico (Christofoletti, 1999).

O acelerado desenvolvimento tecnológico da informática está propiciando recursos técnicos cada vez mais potentes. Os modelos por computador propiciam um espectro muito mais amplo das condições a serem simuladas do que as permitidas nos experimentos em laboratório e os modelos podem ser rodados e repetidos com crescente facilidade. Mais tais vantagens não devem levar à irrelevância nem à substituição das bases lógicas do modelo. A importância de pressupostos apropriados e da estrutura lógica permanece tão relevante como em todos os outros procedimentos.



## **2.2 – ENFOQUE AO PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO EM SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS.**

Uma das questões mais discutidas em planejamento e gerenciamento de sistemas de recursos hídricos é como escolher e formalizar critérios que orientarão a escolha de uma melhor alternativa.

Na busca de respostas para os complexos problemas de planejamento e gestão dos recursos hídricos lança-se mão de utilização de técnicas e ferramentas capazes de auxiliarem nos processos de análise, operação, planejamento e tomadas de decisão em sistema de recursos hídricos. Os estudos de alternativas operacionais, em sistemas de recursos hídricos, são comumente feitos por meio de aplicação de elaboradas metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de *Otimização e Simulação* (Yeh, 1985; Simonovic, 1992; Wurbs, 1993 e Labadie *et al*, 1984).

A base de análise de sistemas de recursos hídricos iniciou-se com a técnica de pesquisa operacional, introduzida pela primeira vez pelos americanos durante a Segunda Guerra Mundial para a solução de problemas de operações militares, que utiliza o método de Descartes na solução de problemas complexos. Deve-se ao “Harvard Water Program”, a ação pioneira de introduzir esse tipo de abordagem em planejamento e gestão dos recursos hídricos. (Lima, 2004 e Andrade, 2000).

Há duas décadas, Yeh (1985) apontava que os mais importantes avanços no campo da engenharia de recursos hídricos foram o desenvolvimento e adoção de técnicas de otimização para o planejamento e gerenciamento de sistemas complexos de recursos hídricos.

Segundo Lanna (1997), são dois os grandes propósitos da análise de sistemas de recursos hídricos: simular o comportamento da realidade que eles representam e otimizar os processos decisórios que atuam sobre a realidade, o que dá origem à margem de utilização de duas técnicas mais usuais, que são de simulação e otimização.

### **2.2.1 - OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS**

A principal tarefa da operação de reservatórios é determinar, perante influxos incertos, as melhores alocações para as várias finalidades de forma a maximizar o benefício geral obtido por todas elas.

Na operação de reservatórios, em especial, as regras de operação são usualmente construídas por modelos de simulação que simulam a operação do sistema de acordo com influxos, características do sistema e políticas de operação (Yeh, 1985). As regras de operação

podem ser modificadas e aperfeiçoadas com uma série de simulações até que resultados aceitáveis sejam obtidos (Drapper, 2001).

Sabendo-se que existem inúmeras políticas viáveis, utilizar um modelo de simulação torna difícil o processo de busca da melhor regra. Segundo Yeh (1985), técnicas de otimização fornecem um meio de superar esta dificuldade já que possuem a habilidade de examinar todas as alternativas possíveis e buscar a decisão ótima.

De acordo com Simonovic (1992), simulação e otimização são ferramentas essenciais para o desenvolvimento de uma base quantitativa de decisões em gerenciamento de reservatórios e a utilização dessas técnicas no planejamento e operação de projetos reais se encontra em bastante crescimento.

### 2.2.2 SIMULAÇÃO

Segundo Simonovic (1992) um modelo de simulação é caracterizado como uma representação de um sistema físico com a finalidade de prever seu comportamento dentro um certo conjunto de condições. Dessa forma, a simulação é diferente de otimização visto que não identifica políticas ótimas de operação. Entretanto, permite uma representação bem detalhada e mais realista da complexidade do sistema estudado.

Segundo Andrade (2000), aplicações pioneiras de simulação em recursos hídricos estão referidos à década de 1950, com as primeiras publicações sobre pesquisas no desenvolvimento de simulação de sistemas de reservatórios sendo produzidas pelo Havard Water Program (Mass *et al.*, *apud* Simonovic, 1992).

Sigvaldason (1976) descreveu um modelo de simulação para operação de um sistema de múltiplos reservatórios sujeitos a múltiplos usos em Ontário, Canadá. Devido ao grande porte do sistema e à dificuldade de adaptação do mesmo a procedimentos de otimização, foi escolhido a técnica da simulação para representar o sistema.

Yeh (1985) aponta referências desse tipo de modelo, com por exemplo, o HEC-3 e o HEC-5, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, o SIM (I e II), do Texas Water Systems, o ARB-Arkansas River Basin Model, o TVA, HSSS – Hydro System Seasonal Simulator da North Pacific division/ Corps of Engineers, o ACRES, entre outros.

Oliveira (1998) aplicou um modelo de simulação desenvolvido para um sistema de dois reservatórios, em paralelo e interligados a partir de uma determinada cota, sujeito a múltiplos usos, localizado no Estado da Paraíba.

O MODSIM desenvolvido no Colorado State University por Labadie *et al.* (1984), é essencialmente um modelo de simulação que permite fazer a “otimização” aplicada individualmente para cada mês, da alocação de água via modelo de rede de fluxo. Foi utilizado por Azevedo (1997) na bacia do rio Piracicaba. (Lima, 2004).

### 2.2.3 OTIMIZAÇÃO

Simulação é limitada a um número de soluções viáveis. Uma vez que existe uma grande quantidade de alternativas possíveis, a busca da melhor delas se torna um processo extremamente trabalhoso. Otimização, por sua vez, inclui um conjunto de técnicas que examinam implicitamente todas as alternativas de decisão em busca da melhor escolha.

Modelos de Otimização são caracterizados por se preocuparem em determinar um conjunto de *variáveis de decisão* que otimizem (maximizem ou minimizem) uma dada *Função-Objetivo* sujeita a *restrições*. A função objetivo e as restrições são representadas por equações matemáticas, em função das variáveis de decisão (Celeste *et al.*, 2005).

No entanto, não existe um procedimento geral de otimização que possa resolver eficientemente qualquer tipo de problema. A maioria das técnicas depende da forma e das propriedades matemáticas da função-objetivo e das restrições (Mateus e Luna, 1986; Dahlquist e Bjorck, 1974).

Técnicas de otimização matemática incluem: Os *multiplicadores de Lagrange*, *Programação linear* (PL), *Programação não-linear* (PNL), *Programação Dinâmica* (PD), *Programação Quadrática* (PQ), *Programação geométrica* (PG), etc. A aplicabilidade desses métodos, assim como a de outros não mencionados, é altamente dependentes da estrutura matemática do modelo estudado, ou seja, da complexidade atribuída ao sistema.

Em planejamento e gerenciamento de sistemas de recursos hídricos, destacam-se aplicação de Programação Linear (PL), Programação Dinâmica (PD) e Programação Não Linear (PNL)..

PROGRAMAÇÃO LINEAR (PL) é uma das técnicas mais amplamente utilizada em modelos de otimização aplicados na operação de reservatórios e tem a finalidade de resolver um tipo de problema especial, em que os objetivos e restrições são funções lineares das variáveis de decisão. Mesmo quando as funções não são lineares, a PL tem sido utilizada com o auxílio de processos de linearização de funções.

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

Moy *et al.* (1986) formularam um modelo de programação multiobjetiva linear, inteira e mista, incorporando a confiabilidade a *resiliência* e a *vulnerabilidade* como objetivos. Posteriormente, Srinivasan *et al.* (1999), formularam um aperfeiçoamento do modelo, incorporando uma definição mais completa do indicador de desempenho *resiliência* e também, adicionaram um conjunto de restrições com a finalidade de identificar e controlar a água em excesso que verte pelo reservatório.

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

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

Righetto e Filho (2003) apresentaram um estudo preliminar da simulação operacional dos reservatórios Cruzeta e Armando Ribeiro Gonçalves, Rio Grande do Norte, no sentido de verificar a magnitude de oferta hídrica desses reservatórios quando se dispõe de vazão firme proveniente de fonte exógena.

Kuo *et al.* (2003) fizeram um estudo de comparação de três técnicas de otimização para o planejamento de um projeto de irrigação. Essas três técnicas são aplicadas para o planejamento de um projeto de irrigação de 394,6 ha na região de Delta, Utah, para otimização de benefícios econômicos, simulação da demanda de água, e estimativa da porcentagem da área irrigada.

Curi *et al.* (1997) fizeram a alocação ótima de água do reservatório Engenheiro Arcoverde para irrigação via programação linear, determinando os valores máximos das áreas para irrigar com cada cultura.

PROGRAMAÇÃO DINÂMICA (PD) é aplicada especialmente em problemas seqüenciais de decisão de múltiplos estágios nos quais o tomador de decisão se depara com o mesmo tipo de problema em vários estágios. Programação dinâmica se aproveita dessa característica para decompor um problema amplo em vários sub-problemas menores de um estágio cada. A PD pode manipular funções não-lineares, não-convexas e descontínuas, porém existe uma limitação se a mesma for utilizada em sistemas de múltiplos reservatórios, a chamada “praga da dimensionalidade”, decorrente da qual o tempo computacional cresce exponencialmente com o número de variáveis de estado. (Draper, 2001; Yeh, 1985).

Piccardi e Sessa (1991) utilizaram programação dinâmica estocástica para controle ótimo de reservatório com discretização densa e pretensão de correlação de aflúncias possivelmente feita por computação paralela.

Aplicando PD, Drouin *et al.* (1996), analisaram a política ótima de um modelo de tempo descontínuo de um reservatório único usado para geração de energia. O problema foi modelado através do processo de decisão markoviano, que é um processo estocástico no qual o estado do processo no futuro depende apenas do estado do processo e da decisão escolhida no presente, com objetivo de maximizar a expectativa do rendimento total deduzido em um horizonte infinito. Embora o modelo seja desenvolvido para ser aplicado no contexto específico do controle de vazões em reservatórios, pode ser estendido aos casos de problemas estocásticos unidimensionais, onde aproximações lineares das várias variáveis foram utilizadas.

Soares (1988) aplicou a Programação Dinâmica Estocástica (PDE) para obtenção da solução ótima do sistema hidroelétrico do rio São Francisco, na região nordeste do Brasil, com operação multiobjetiva: a geração de energia elétrica e o uso de água para irrigação. Os resultados foram analisados a partir das curvas de risco de perda de energia versus irrigação.

Chandramauli e Raman (2001) aplicaram um modelo de rede neural, que é uma técnica de inteligência artificial que simula o comportamento do cérebro humano, em um problema de programação dinâmica (RNPD) e aplicaram ao sistema “Parambikulan Aliyar Project”, localizado em Tamil Nadu e Kerala.

Outras aplicações de PD, especialmente na operação de reservatórios, podem ser verificadas nos trabalhos de Young (1967), Houck (1982), Karamouz *et. al* (1992), Mujumdar e Ramesh (1997), Lima e Lanna (2001), entre outros.

PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR (PNL) não tem a mesma popularidade da PL e PD em análise de sistemas de recursos hídricos. Segundo Yeh (1985), o processo de otimização

envolvido era geralmente lento e requeria uma alta capacidade de processamento e armazenamento computacional. Não obstante, a matemática envolvida em modelos não lineares é bastante complexa. No entanto, graças ao advento da tecnologia computacional e o desenvolvimento de novos algoritmos de programação, esses problemas vem sendo contornados. A PNL oferece uma formulação matemática generalizada e pode trabalhar eficientemente com funções-objetivos não separáveis e restrições não-lineares, diferentemente das outras técnicas de otimização.

Segundo Cirilo (1997), a grande vantagem da PNL é a sua abrangência, oferecendo uma formulação matemática mais geral, não necessitando de simplificações o que, uma vez elaborado o modelo matemático que descreve o sistema a otimizar, aumenta a precisão nos resultados a serem alcançados. Como desvantagens, destacam-se a incerteza de que em muitos casos, a solução ótima obtida não ser global devido a não-linearidade dos problemas e a já citada necessidade de um grande tempo de processamento na busca da solução ótima.

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

Em Curi *et al.* (1997), é aplicado um modelo matemático de otimização, baseado em programação não-linear, para analisar a alocação ótima de volumes mensais de água de um reservatório para uso na irrigação, piscicultura e controle de cheias, localizado na região semi-árida do Estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil. Albuquerque e Curi (2003) realizaram um estudo sobre o planejamento ótimo e integrado de cinco reservatórios inseridos na parte alta da bacia hidrográfica do rio Capibaribe do Estado de Pernambuco, utilizando-se da programação linear e não-linear, ensejando a maximização da receita líquida advinda da agricultura irrigada e da piscicultura extensiva .

O modelo de otimização ORNAP (*Optimal Reservoir Network Analysis Program*), desenvolvido por Curi e Curi (1999), é baseado em programação não-linear, que trabalha a nível mensal. Barbosa (2001) utilizou esse modelo para estudar o comportamento da operação de um sistema de 3 reservatórios em paralelo sujeitos a usos múltiplos, localizados na Bacia do Capibaribe, no estado Pernambuco. Andrade (2000) também fez uso do modelo para

determinar a operação ótima de um sistema hídrico formado por 2 reservatórios em série e 3 perímetros de irrigação, localizados na bacia do Capibaribe, em Pernambuco. Celeste *et al.* (2004) aplicaram o ORNAP para estudar o potencial hídrico de um sistema de sete reservatórios agregados na bacia hidrográfica do rio Piancó para fins de agricultura irrigada. Entre outras aplicações, o ORNAP se mostrou eficaz como ferramenta do auxílio à tomada de decisão, pois os resultados alcançados são bastante interessantes no contexto, além da razão de serem obtidos com baixos custos computacionais.

Outros trabalhos no âmbito de PNL podem ser vistos em Celeste *et al.* (1996), Teegavarapu e Simonovic (2000) e Barros *et al.* (2003), entre outros.

### 2.3 - INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS

Durante a última década, particularmente em sua segunda metade, desenvolveu-se o interesse na busca de indicadores de sustentabilidade por parte de organismos governamentais, não-governamentais, institutos de pesquisa e universidades em todo o mundo. Muitas conferências já foram organizadas por entidades internacionais, bem como outras iniciativas de pesquisadores ligados a algumas instituições governamentais e/ou universitárias. No entanto, ainda pouco se tem de concreto, pois o tema é relativamente novo para a comunidade acadêmica (Marzall e Almeida, 1999).

Um indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade (Mitchell, 1997). Tem como principal característica a de poder sintetizar um conjunto complexo de informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados (Hatchuel e Poquet, 1992; Bouni, 1996; Mitchell, 1997). É visto ainda como uma resposta sintomática às atividades exercidas pelo ser humano dentro de um determinado sistema (Australian Department of Primary Industries and Energy - DPIE, 1995).

Segundo o documento do DPIE (1995), indicadores são medidas da condição, processos, reação ou comportamento que fornecem confiável resumo de sistemas complexos. Se forem conhecidas as relações entre os indicadores e o padrão de respostas dos sistemas, pode-se permitir a previsão de futuras condições. As medidas devem evidenciar modificações que ocorrem em uma dada realidade (DPIE, 1995; Brown Jr., 1997), principalmente aquelas mudanças determinadas pela ação antrópica (Marzall e Almeida 1999). Benbrook e Groth III (1996) afirmam que muitos aspectos (matéria orgânica, qualidade da água, qualidade do solo etc.) podem ser medidos de diferentes formas.

Existem atualmente diversos tipos de indicadores para a análise de desempenho de sistemas. Por exemplo, para análise de impactos ambientais enquadram-se os *indicadores de comportamento, de gestão e de situação ambiental*, os quais estão relacionados a ações e conseqüências das atividades das empresas no meio ambiente. No âmbito do Sistema Interligado Nacional (SIN) os principais indicadores que avaliam o desempenho desse sistema são os *indicadores de Continuidade nos Pontos de Controle* e *indicadores de Qualidade de Operação*. Os indicadores de continuidade do serviço na Rede Básica de transmissão são apurados pelo ONS- Operador Nacional do Sistema Elétrico desde 2000, nas instalações que formam a fronteira entre a Rede Básica de transmissão e as demais instalações do sistema. Os indicadores mais utilizados são a *Duração da Interrupção do Ponto de Controle - DIPC* - e a *Frequência da Interrupção do Ponto de Controle - FIPC*. Esses parâmetros evidenciam a eficiência dos serviços prestados pelos transmissores e pelo ONS, assim como o nível de redundância de suas instalações. Os indicadores de qualidade da operação mostram a evolução do número de perturbações no sistema e de seu impacto sobre o atendimento aos consumidores. Fazem parte desse conjunto o *número de perturbações que resultaram em cortes de carga*, o *índice de robustez do sistema*, que é a relação entre o número de perturbações sem corte de carga e o total de perturbações em um dado período, e a energia não suprida.

Segundo o Programa de Excelência Gerencial do Exército Brasileiro (PEG-EB), a medição de desempenho organizacional da entidade é avaliada por: 1) *Indicadores Estratégicos* -- Informam o “quanto” a organização se encontra na direção da consecução de sua visão. Refletem o desempenho em relação aos fatores críticos para o êxito. 2) *Indicadores de Produtividade* ( eficiência ): medem a proporção de recursos consumidos com relação às saídas dos processos. 3) *Indicadores de Qualidade* ( eficácia ): focam as medidas de satisfação dos clientes e as características do produto/serviço. 4) *Indicadores de Efetividade* ( impacto ): focam as conseqüências dos produtos/serviços. Fazer a coisa certa da maneira certa. 5) *Indicadores de capacidade*: medem a capacidade de resposta de um processo através da relação entre as saídas produzidas por unidade de tempo.

Além desses, existem inúmeros tipos de indicadores que medem o desempenho de sistemas, sejam eles indicadores sociais, econômicos, ambientais, financeiros, de qualidade, de eficiência, etc..

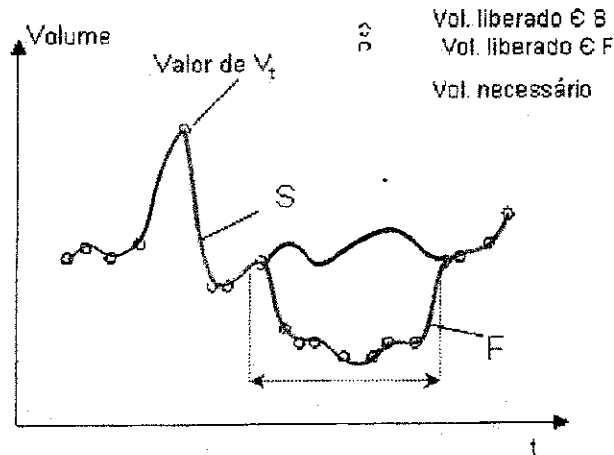
Hashimoto *et al.* (1982) estabeleceram três indicadores de desempenho para sistemas, que podem ser aplicados também a sistemas de recursos hídricos, os quais se denominam de *Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade*.



Esses indicadores auxiliam na análise do desempenho do sistema hídrico especialmente em períodos críticos de seca, além de dar melhores condições para o analista prever cenários futuros. Portanto, para análise do desempenho do sistema hídrico analisado neste trabalho, utilizou-se esses três indicadores que serão discutidos a seguir.

Segundo Srinivasan *et al.* (1999), falhas em operação de sistemas de reservatório de abastecimento de água são frequentemente inevitáveis durante períodos hidrológicos críticos. As características de falhas de cada sistema podem ser representadas pelos indicadores de desempenho tais como confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Em outras palavras, confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade juntos caracterizam “risco” no contexto de operação e planejamento de reservatório.

Considerando a Figura 2.1. Seja  $V_t$  os possíveis valores do volume liberado do reservatório no tempo  $t$ , que pode está contido em dois conjuntos: S, o conjunto de todos os valores satisfatórios, ou seja, quando o volume liberado do reservatório é igual ao volume necessário para atender à demanda e F o conjunto de todos os valores insatisfatórios, i.e, quando o volume liberado é menor do que o volume necessário para atender à demanda, portanto:



**Figura 2.1** – Exemplo fictício de descargas de reservatórios

De acordo com Hashimoto *et. al* (1982), os três indicadores são definidos como:

### 2.3.1 - CONFIABILIDADE

É a percentagem do tempo em que as demandas necessárias foram atendidas, ou seja, segundo a Figura 2.1, a probabilidade de  $V_t$  pertencer ao conjunto S, isto é:

$$Conf = Prob(V_t \in S) \quad (2.1)$$

### 2.3.2 - RESILIÊNCIA

A resiliência, também chamada de elasticidade, descreve quão rapidamente o sistema retorna de uma falha caso esta tenha ocorrido.

Baseado na Figura 2.1, ela é definida como a relação entre probabilidade de  $V_t \in F$  e  $V_{t+1} \in S$  e a probabilidade de  $V_t \in F$ , ou seja:

$$Res = \frac{Prob(V_t \in F e V_{t+1} \in S)}{Prob(V_t \in F)} \quad (2.2)$$

$$\text{ou } Res = Prob\{V_{t+1} \in S | V_t \in F\} \quad (2.3)$$

### 2.3.3 - VULNERABILIDADE

Este indicador mede o quão severa é a magnitude da falha, caso esta tenha ocorrido. Ela pode ser definida como a média do percentual de déficit hídrico do conjunto de todos os valores insatisfatórios, ou seja, o conjunto F da Figura 2.1. Matematicamente, tem-se que:

$$Vul = \frac{1}{n_f} \sum \left| \frac{V_t - V_d}{V_d} \right| \quad (2.4)$$

Onde  $n_f$  é o número de eventos de falha e  $V_d$  é a demanda necessária no tempo  $t$ .

## 2.4 - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E VULNERABILIDADE DE BACIAS

Antes de definir esses indicadores, é preciso definir alguns conceitos sobre potencialidades e disponibilidades hídricas de bacias hidrográficas.

A potencialidade de uma bacia hidrográfica representa a quantificação dos recursos hídricos sem a intervenção humana, em seu estado natural. Segundo Vieira (1996), é representada pelo escoamento natural médio, soma do escoamento superficial direto com o escoamento de base (origem subterrânea).

A disponibilidade hídrica constitui a parcela da potencialidade ativada pela ação do homem. Suas variações, portanto, dependem não somente dos fatores naturais, como também, daqueles ligados ao destino da água e seu aproveitamento. Esse conceito, no sentido mais amplo, envolve: localização, regime, qualidade, nível tecnológico, tipo do uso, e aspectos econômicos. De uma maneira geral, a disponibilidade é sensivelmente inferior a potencialidade.

Segundo Vieira (1996), a disponibilidade hídrica é obtida segundo os seguintes critérios: a) vazões regularizadas calculadas em estudos específicos, b) no caso de inexistência de estudos, 25% da capacidade de acumulação dos açudes, c) vazões mínimas de rios perenes, d) avaliação estatística, por aquífero, para disponibilidades subterrâneas.

A comparação entre a potencialidade, a disponibilidade e a demanda de bacias hidrográficas estabelece a definição de indicadores de sustentabilidade hídrica e vulnerabilidade (Vieira, 1996), os quais são apresentados nas próximas seções.

#### 2.4.1 – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

De acordo com Vieira (1996), os indicadores de sustentabilidade são definidos como:

##### 2.4.1.1 – ÍNDICE DE ATIVAÇÃO DA POTENCIALIDADE – IAP

Ele é definido como a razão entre a disponibilidade e a potencialidade, ou seja:

$$IAP = \frac{\text{Disponibilidade}}{\text{Potencialidade}} \quad (2.5)$$

Vieira (1996) escreve que esse índice deve sempre ser inferior a 0,8, embora este valor, mesmo nas bacias mais exploradas, do ponto de vista dos recursos hídricos, como a do Rio Jaguaribe (IAP = 0,5) no Ceará, ainda está bastante inferior a 0,8. Bacias hidrográficas com um IAP inferior a 0,6 apresentam possibilidades de aumento da disponibilidade no seu espaço geográfico. Bacias hidrográficas com um IAP superior a 0,6 e nas quais as demandas apresentam-se reprimidas por insuficiência de disponibilidade podem ser supridas através de aportes advindos de transposições de água a partir de outras bacias.

##### 2.4.1.2 - ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE – IUD

O IUD é definido como a razão entre a demanda e a disponibilidade. Os valores de IUD superiores à unidade constituem uma preocupação em termos de alocação da água, pois nos anos menos favorecidos em termos de pluviometria, a pressão por disponibilidades para usos consuntivos, advinda de interesses econômicos e políticos será certamente geradora de conflitos de uso.

$$IUD = \frac{\text{Demanda}}{\text{Disponibilidade}} \quad (2.6)$$

## 2.4.1.3 - ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA POTENCIALIDADE – IUP

Razão entre demanda e a potencialidade. É obtida também com o produto de IAP e IUD.

$$IUP = \frac{\text{Demanda}}{\text{Potencialidade}} \quad (2.7)$$

## 2.4.2 – INDICADORES DE VULNERABILIDADE

Segundo Campos (1995) *apud* Vieira (1996), os principais indicadores de vulnerabilidade de bacias são relacionados à insuficiente capacidade de acumulação, à demanda crescente por água e à intermitência dos cursos d'água.

## 2.4.2.1– Relação S/Q

Relação entre a capacidade de acumulação S dos reservatórios e o volume médio anual escoado Q.

Segundo Campos (1995) *apud* Vieira (1996) embora a relação S/Q em torno de 2,0 tenha sido historicamente aceita, poderão ser recomendáveis valores bem superiores, em determinados casos. Valores, entretanto, inferiores a 1,0 denotam, certamente, baixo nível de acumulação na bacia.

## 2.4.2.2 - Relação D/Q

Relação entre o uso consuntivo D e o volume médio anual escoado Q.

Entende Campos (1995) *apud* Vieira (1996), que valores superiores a 0,20 para a Região Nordeste já constituem indicativo de vulnerabilidade.

2.4.2.3 - Relação  $Q_{\min}/Q_{\max}$ 

Relação entre as vazões mínima e máxima de um rio.

Quando  $Q_{\min}/Q_{\max}$  é igual a zero, demonstra-se a intermitência de um curso d'água .

## 2.5 - INDICADORES DE DESEMPENHO DE ÁREAS/PERÍMETROS IRRIGADOS

## 2.5.1 - INDICADORES DO BALANÇO HÍDRICO

Levine (1982) desenvolveu esses indicadores como uma medida da disponibilidade de água em projetos de irrigação. O Fornecimento Relativo de Água (FRA) relaciona o

fornecimento total de água, nas formas de precipitação pluviométrica e irrigação, com o requerimento total de água das culturas. O Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI), representa a razão entre o fornecimento de água para irrigação e a demanda de irrigação (requerimento total menos precipitação efetiva).

Molden *et al.* (1998) analisaram os resultados da aplicação dos indicadores em 18 projetos de irrigação e observaram que os valores de FRA variaram entre 0,80 e 4,0. Metade desses projetos teve FRA maior que 2,0, sugerindo que não houve restrição no fornecimento de água. O mesmo foi observado para o fornecimento relativo de irrigação (FRI), cujos valores variaram entre 0,41 e 4,81, o qual indica apenas o fornecimento através da irrigação, em função da demanda hídrica das culturas. Portanto, o FRI focaliza somente o suprimento de água através da irrigação em função do requerimento de água das culturas e dá uma indicação da condição de abundância ou escassez de água.

#### 2.5.1.1 - FORNECIMENTO RELATIVO DE ÁGUA - (FRA)

Este indicador relaciona o suprimento total de água, ou seja, volume fornecido através da irrigação ( $V_f$ ) mais precipitação efetiva ( $Pe$ ), com a demanda hídrica das culturas (ETP). Teoricamente, a contribuição do lençol freático deveria ser considerada, porém as dificuldades para obtenção desse parâmetro têm impossibilitado o seu uso.

$$FRA = \frac{V_f + Pe}{ETP} \quad (2.8)$$

Onde:  $V_f$  = Volume fornecido na área irrigada ( $m^3$ );

$Pe$  = Precipitação efetiva ( $m^3$ );

$ETP$  = Evapotranspiração potencial das culturas ( $m^3$ ).

#### 2.5.1.2. FORNECIMENTO RELATIVO DE IRRIGAÇÃO - (FRI)

Este indicador relaciona apenas o volume fornecido através da irrigação ( $V_f$ ) (sem considerar  $Pe$ ) com a demanda de água das culturas ( $ETP - Pe$ )

$$FRI = \frac{V_f}{(ETP - Pe)} \quad (2.9)$$

### 2.5.1.3. RAZÃO GLOBAL DE CONSUMO (RGC)

Este indicador está intimamente relacionado com o manejo da água e com o nível tecnológico da infra-estrutura de irrigação do projeto.

O volume de água fornecido ao projeto é determinado como uma função do uso consuntivo das culturas. Em outras palavras, a água fornecida que poderia adequadamente alcançar as necessidades das culturas no projeto. Como a precipitação pode suprir as necessidades da cultura, em parte ou completamente, é preciso descontá-la da ETP, deste modo fornecendo uma estimativa mais realista do requerimento de água na área irrigada (Brito *et al.*, 1998).

A razão global (projeto) de consumo quantifica a fração da irrigação evapotranspirada pelas culturas no balanço hídrico da área irrigada, definida como:

$$RGC = \frac{(ETP - Pe)}{Vf} \quad (2.10)$$

### 2.5.1.4. FORNECIMENTO MÉDIO DE ÁGUA (FMA)

Segundo Brito *et al.* (1998), a definição em termos de volume por hectare, dá uma indicação sobre o quanto de água está sendo utilizada para produzir um hectare de área cultivada.

A partir da década de 1970, Svendsen & Vermillion (1994) observaram que o fornecimento médio de água nas tomadas das parcelas diminuiu consideravelmente no Projeto da Bacia Columbia. Essa observação coincide com o período de maior expansão da área sob irrigação por aspersão. Portanto, essa diminuição pode estar relacionada com a mudança para uma tecnologia de aplicação de água mais eficiente, ou seja, do sistema de irrigação por superfície para sistemas de aspersão.

O fornecimento médio de água aos usuários do sistema é obtido conforme a expressão a seguir:

$$FMA = \frac{Vf}{\text{Área Irrigada}} \quad (2.11)$$

## CAPÍTULO III

### A BACIA HIDROGRÁFICA E OS RESERVATÓRIOS EM ESTUDO

Os dados referentes à bacia hidrográfica em estudo que serão apresentados a seguir foram pesquisados e retirados dos estudos do *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba* - PDRH/PB (SCIENTEC,1997).

#### 3.1 – A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ

##### 3.1.1 - LOCALIZAÇÃO

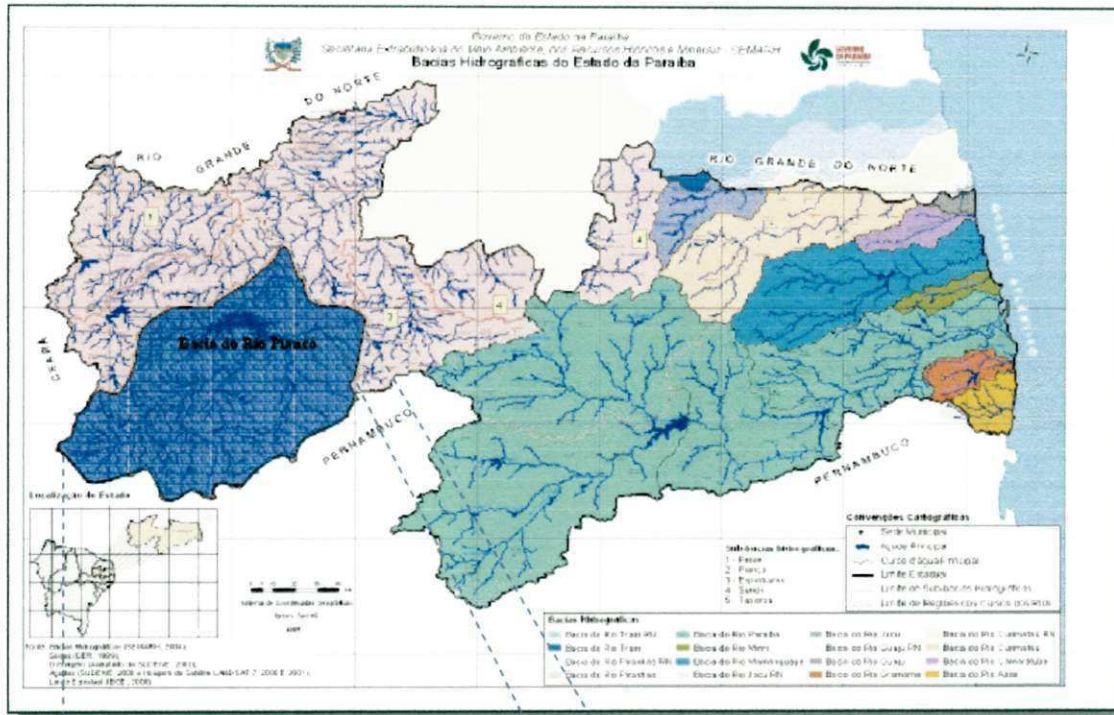
A bacia do rio Piancó corresponde a uma das sete sub-bacias do rio Piranhas em território paraibano. Localiza-se no Sudoeste do Estado da Paraíba, entre os paralelos 6° 43'51'' e 7°58'15'' Sul e meridianos 37° 27'41'' e 38° 42'49'' a Oeste de Greenwich. Limita-se a Oeste com o estado do Ceará, ao Sul com o estado de Pernambuco, ao Norte com as sub-bacias do Alto e Médio Piranhas e ao Leste com a sub-bacia do rio Espinharas (Figura 3.1). O rio Piancó apresenta suas nascentes na Serra do Umbuzeiro, no município de Santa Inês, recebendo significativas contribuições de cursos d'água, desaguardo, finalmente, no rio Piranhas no município de Pombal. Os principais afluentes são os rios Jenipapo e Gravatá e os riachos de Santana, Minador, Canoas, Vermelho, Maria e Verde. Todo esse complexo abrange completa ou parcialmente os municípios de Água Branca, Aguiar, Boa Ventura, Catingueira, Conceição, Coremas, Curral Velho, Diamante, Emas, Ibiara, Igaracy, Imaculada, Itaporanga, Juru, Manaíra, Nova Olinda, Olho d'Água, Pedra Branca, Piancó, Pombal, Princesa Isabel, Santana dos Garrotes, Santana de Mangueira, São José de Caiana, Serra Grande e Tavares, ocupando uma área aproximada de 9.228 km<sup>2</sup>.

##### 3.1.2 – CLIMATOLOGIA

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

A umidade relativa do ar média anual é de 64% na foz da bacia, enquanto nas cabeceiras chega a 72%. Observa-se que os meses mais úmidos são março, abril e maio quando a

umidade atinge 81% em Triunfo e os meses mais secos são outubro e novembro, atingindo o valor de 60%.



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

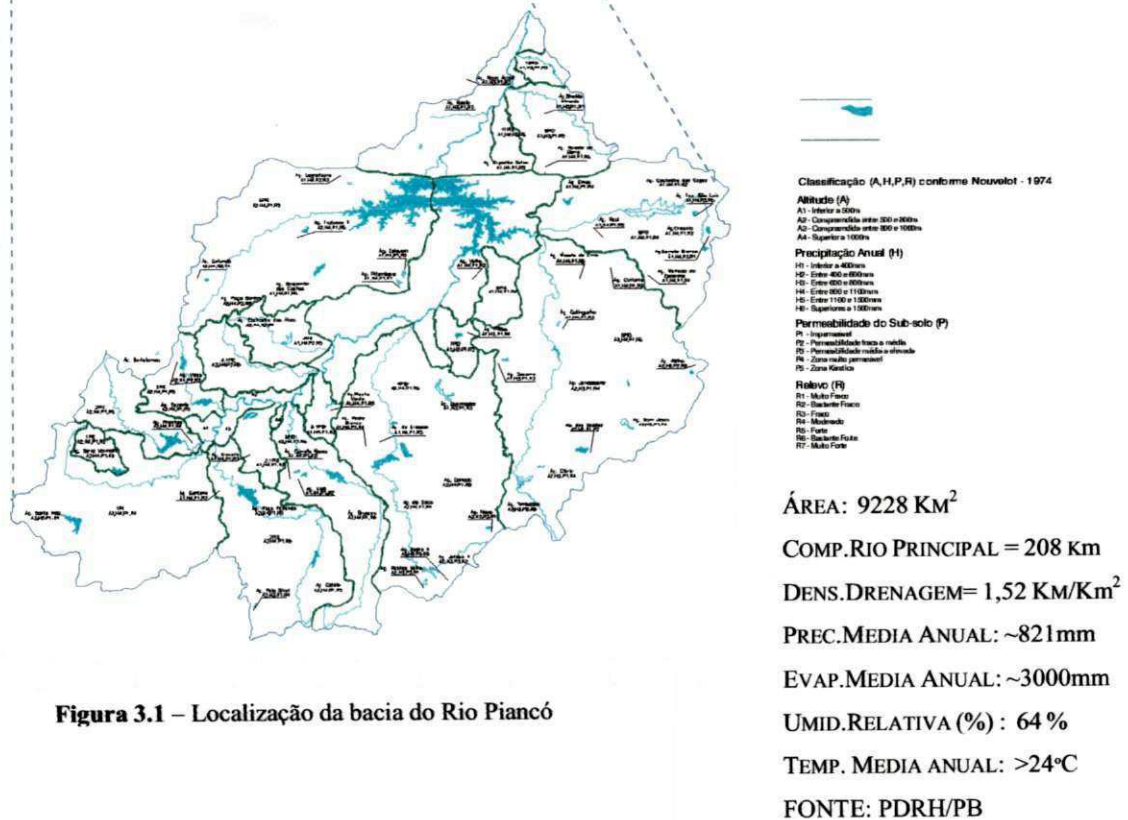


Figura 3.1 – Localização da bacia do Rio Piancó



A insolação diária alcança uma média de 7,3 horas nas circunvizinhanças da serra de Triunfo e 8,7 horas no restante da bacia. A velocidade média do vento na bacia, em termos médios, alcança 2,8 m/s. Os dados de evaporação revelam um total anual em torno de 3.000 mm, condição própria das zonas semi-áridas de latitudes tropicais.

A umidade relativa do ar média anual é de 64% na foz da bacia, enquanto nas cabeceiras chega a 72%. Observa-se que os meses mais úmidos são março, abril e maio quando a umidade atinge 74% em São Gonçalo e 81% em Triunfo. Os meses mais secos são outubro e novembro, onde chega a atingir 56% e 60% em São Gonçalo e Triunfo, respectivamente.

Segundo a Tabela 3.1, apenas os dados de temperatura média mensal foram obtidos nas estações de Coremas e São Gonçalo, os outros foram medidos na estação climática de São Gonçalo, o único representativo e disponível para a bacia em estudo.

A precipitação média anual é de 810 mm. Nos meses de fevereiro, março e abril, a precipitação representa cerca de 60% desse valor, apresentando um coeficiente de variação anual em torno de 40%. Na Tabela 3.1, estão mostrados os valores médios mensais de temperatura, evaporação e precipitação na bacia, observados para o posto de Coremas.

A evapotranspiração potencial é calculada a partir dos dados climáticos ou a partir dos valores medidos em tanques evaporimétricos, adotando para isso um coeficiente de tanque que depende das características de instalação da estação (geralmente na ordem de 0,7 a 0,8). Na região de estudo, dispõe-se dos dados de evaporímetro do tipo tanque classe A. Na Tabela 3.2, são mostrados os valores médios mensais em milímetros. Portanto o total anual é de 2993,4 mm. Os meses que apresentam maiores taxas são os de setembro a dezembro com uma média em torno de 315,52 mm.

A região do semi-árido Nordeste caracteriza-se por uma concentração do seu período chuvoso em alguns meses do ano. Os meses de maior precipitação são os compreendidos entre janeiro a maio, como pode ser observado na Tabela 2.2.

Tabela 3.1 – Temperatura média mensal (°C), Número Mensal Médio de Horas Diárias de Insolação, Médias Mensais da Umidade Relativa do Ar (%), Velocidade Média Mensal do Vento (m/s).

Variáveis	Posto	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média anual
Temperatura média (°C)	S. Conçalo	27,3	26,5	26,1	25,9	23,4	25,1	26,2	26,3	25,6	28,8	27,8	27,9	26,4
	Coremas	28,6	27,0	27,2	26,8	26,6	25,4	25,5	26,3	27,6	28,3	28,8	28,7	27,6
Horas diárias de insolação	S. Conçalo	8,7	8,1	7,6	7,9	8,4	8,4	8,8	9,5	9,4	9,7	9,0	9,1	8,7
Umidade relativa do ar (%)	S. Conçalo	62	69	74	74	72	68	62	59	57	56	57	58	64
Velocidade do vento (m/s)	S. Conçalo	2,6	2,3	2,0	2,0	2,5	2,7	3,0	2,8	3,3	3,3	3,2	3,3	2,75

Tabela 3.2 - Dados de evaporação média mensal do Tanque Classe A, precipitação média mensal obtida através do método de Thiessen para a bacia do Rio Piancó (mm).

Variáveis	Posto	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Evaporação (mm)	Coremas	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6	2993,4
Precipitação (mm)	Coremas	83,07	134,34	219,72	175,62	67,55	31,10	17,58	5,78	5,28	9,12	21,38	39,43	810,0

FONTE: SCIENTEC, Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. PDRH/PB.1997.

### 3.1.3 – PEDOLOGIA

A avaliação e a distribuição dos solos predominantes na bacia do rio Piancó, pautam-se nos vários estudos de solos existentes no Estado. Na avaliação de terras das bacias, observa-se a ocorrência de nove classes de solos, elencadas em ordem de abrangência: Litossolos, Bruno Não Cálcico, Podzólicos, Cambissolos, Regossolos, Aluissolos, Vertissolos, Solonetz Solodizados, Latossolos e Afloramento de Rochas. As classes de solos ocorrentes foram mapeadas como associação de solos, sendo o solo dominante o que nomeia a classe, seguido de outras unidades taxonômicas. Com bases nos levantamentos existentes, em uma abordagem generalizada, foram adotadas as classes de capacidade de uso das terras, sendo os solos das bacias enquadrados nas classes III, IV, VI, VII e VIII.

#### 3.1.3.1 – CAPACIDADE DE USO DO SOLO

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

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

A distribuição das classes de capacidade e suas respectivas áreas podem ser observadas na Tabela 3.3 e na Tabela 3.4, encontram-se resumidas as classes de uso dos solos e suas respectivas áreas na bacia.

Tabela 3.3 – Resumo das Classes de capacidade de uso do solo na bacia

Grupo	Classe de Capacidade	Area (km <sup>2</sup> )	(%) da área total
A	III	1.103,2	12,1
	IV	1.427,7	16
B	VI	1.558,1	16,9
	VII	4.625,1	50,3
C	VIII	430,3	4,7
<b>Total</b>		<b>9144,4</b>	<b>100</b>

(SCIENTEC, 1997)

Tabela 3.4 – Resumo das Classes de uso do solo na bacia

Legenda	Classe de Solos	Áreas (km <sup>2</sup> )	(%) da área total
Lvd	Latosolo Vermelho Amarelo	1,75	0,02
PE	Podzólico Vermelho Amarelo	983,91	10,66
RE	Regossolo Eutrófico	223,05	2,42
NC	Bruno Não Cálcico	915,31	9,92
Cc	Cambissolo Eutrófico	310,333	3,36
Ae	Aluissolo Eutrófico	150,25	1,63
Re	Litossolo Eutrófico	6.316,88	68,45
Ar	Afloramentos de rocha	8,34	0,09
<b>Total</b>		<b>8909,8</b>	<b>100</b>

(SCIENTEC, 1997)

#### 3.1.4 – COBERTURA VEGETAL

A vegetação natural é do tipo xerófila, pertencente ao bioma caatinga. O caráter xerófilo caracteriza a vegetação nativa, que recebe a denominação de caatinga hiperxerófila, quando o índice de xerofitismo é elevado. Sendo esse índice baixo, denomina-se de hipoxerófila. O processo de degradação da vegetação na bacia está bastante acentuado. A área de antropismo já ocupa mais da metade das terras da bacia, causando um elevado grau de degradação, contribuindo para o processo de aridez mais acentuado na região. O desmatamento e a exploração das florestas nativas, seguidas da expansão agrícola e urbana, responsáveis pelo o impacto negativo na bacia, alcançam uma área de 6.187 km<sup>2</sup>, equivalente a 67,4% da área total (SCIENTEC, 1997).

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

### 3.2 – DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS EM ESTUDO

Os reservatórios analisados nesta pesquisa foram os mesmos estudados por Silva (2004), tendo este utilizado em seu estudo um outro tipo de análise. No entanto, grande parte dos dados primários utilizados nesta pesquisa foi retirada do trabalho deste autor, já que se trata dos mesmos sistemas de reservatórios.

Os açudes analisados são os seguintes: CONDADO, SANTA INÊS, SERRA VERMELHA I, PIRANHAS, VIDÉO E VAZANTE, tendo juntos uma capacidade máxima de armazenamento de 113 milhões de metros cúbicos. Todos eles ficam a montante do maior reservatório da Bacia, o sistema Coremas/ Mãe D'água. O layout do sistema está ilustrado na Figura 3.2.

#### 3.2.1 – O AÇUDE CONDADO

O açude Condado, localizado a uma latitude de 7°46'20" Sul e a uma longitude de 38°33'30" Oeste, tem uma capacidade máxima de 35 milhões de metros cúbicos. Foi construído com a finalidade de abastecimento d'água para a cidade de Conceição e fornecimento de vazão regularizada para irrigação.

#### 3.2.2 – O AÇUDE SANTA INÊS

O reservatório de Santa Inês tem uma capacidade máxima de 26 milhões de metros cúbicos e está localizado a uma latitude de 7°42'33" Sul e a uma longitude de 38°36'21" Oeste. O açude tem por finalidade o abastecimento d'água à localidade de Santa Inês, a piscicultura extensiva e o fornecimento de vazão regularizada para irrigação.

#### 3.2.3 – O AÇUDE SERRA VERMELHA I

O açude Serra Vermelha I está localizado a uma latitude de 7°47'25" Sul e a uma longitude de 38°31'29" Oeste. Tem um volume máximo de 11,8 milhões de metros cúbicos. O açude abastece a cidade de Conceição que, segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba (SCIENTEC, 1997), possui uma população estimada em 16.569 habitantes, requerendo uma demanda de 28,56 l/s.

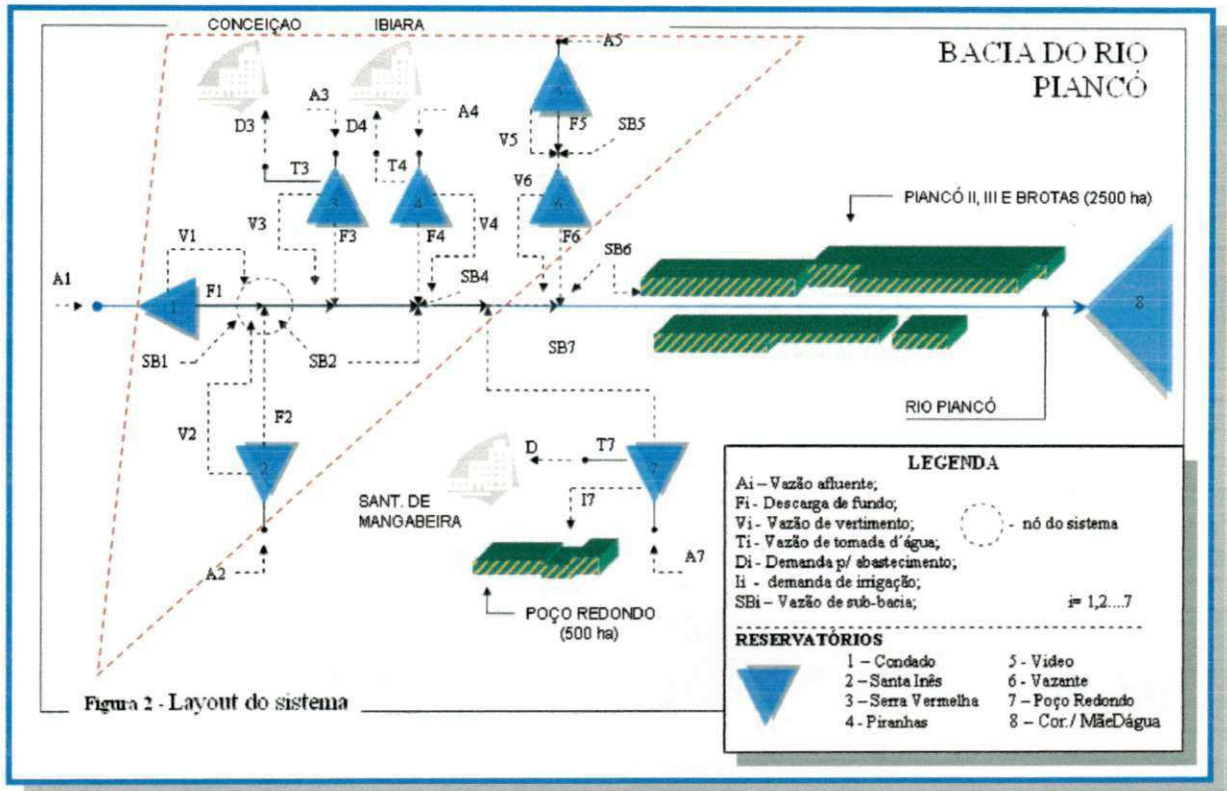


Figura 2 - Layout do sistema

Figura 3.2 – Layout do sistema estudado

### 3.2.4 – O AÇUDE PIRANHAS

Piranhas é um reservatório localizado na latitude  $7^{\circ}30'48''$  Sul e longitude  $38^{\circ}26'20''$  Oeste e possui uma capacidade máxima de armazenamento de 25,6 milhões de metros cúbicos, com uma demanda de  $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , abastece a cidade de Ibiara que possui uma população estimada em 5.858 hab.

### 3.2.5 – O AÇUDE VIDÉO

Sendo o menor entre os seis reservatórios, Vidéo está localizado a uma latitude de  $7^{\circ}22'03''$  Sul e longitude de  $38^{\circ}25'55''$  Oeste. Com a capacidade máxima de 6 milhões de metros cúbicos, o açude atualmente não abastece a nenhum núcleo urbano, apesar de ter sido construído com essa finalidade, além das finalidades de piscicultura e fornecimento de vazão para irrigação.

### 3.2.6 – O AÇUDE VAZANTE

O açude Vazante tem uma capacidade de 9 milhões de metros cúbicos e está localizado a uma latitude de  $7^{\circ}35'24''$  Sul e a uma longitude de  $38^{\circ}22'33''$  Oeste. O açude tem por finalidade a piscicultura extensiva e o fornecimento de vazão para irrigação.



A quase totalidade dos reservatórios apresentados tem, também, a finalidade, de perenizar o rio Piancó, pois no percurso de todo rio até chegar em Coremas – Mãe D'Água, são feitas várias captações para pequenas irrigações, abastecimento de pequenas comunidades e até mesmo de municípios.

O sistema de reservatórios Coremas – Mãe D'água atende a diversos usos, dentre eles: geração de energia, perenização do rio Piancó que atende algumas demandas no estado do Rio Grande do Norte, abastecimento de 4 m<sup>3</sup>/s para o perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, por meio do Canal da Redenção, o sistema adutor de Coremas/Sabugi, que atenderá o abastecimento de 17 municípios e alguns perímetros de irrigação a jusante. Dada a grande importância do sistema para a região, é preciso que os sub-sistemas a montante deste sejam gerenciados de forma ótima para que o mesmo não entre em estresse hídrico, caso não seja realimentado com as vazões afluentes.

### 3.3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HIDRÁULICAS DOS RESERVATÓRIOS

#### 3.3.1 – PRECIPITAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

A precipitação para cada reservatório foi obtida dos Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste (SUDENE, 1990). Foram escolhidos os posto pluviométricos mais próximos possíveis dos reservatórios. São eles: Manaíra no município de Manaíra, Conceição no município de Conceição, Bom Jesus no município de Conceição e Ibiara no município de Ibiara. Estes dados podem são apresentados nos Anexos de 1 a 3.

#### 3.3.2 – VAZÕES AFLUENTES AOS RESERVATÓRIOS

Os dados fluviométricos foram obtidos do *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba - PDRH/PB* (SCIENTEC, 1997). Foram utilizados dados fluviométricos obtidos no modelo denominado MODHAC – Modelo Hidrológico Auto Calibrável (Lanna, 1997a). Considerando a relativa disponibilidade de dados pluviométricos na área em estudo que possibilitou o estabelecimento de uma série média diária de 53 anos, o Plano Diretor optou por uma abordagem determinística conceitual a partir da utilização do referido modelo. Nos Anexos de 4 a 9, podem ser observados os valores das vazões afluentes geradas para cada reservatório.

### 3.3.3 – EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

Os dados de evaporação média mensal para os seis reservatórios estudados, foram obtidos do posto Climatológico de Coremas, conforme mostrados na Tabela 3.2. Esses dados também foram considerados para cada sistema de reservatório.

### 3.3.4 – DEMANDAS

#### 3.3.4.1 – ABASTECIMENTO URBANO

Dos seis reservatórios estudados, dois estão comprometidos com o abastecimento urbano: Serra Vermelha I que abastece a cidade de Conceição com 16.569 hab; e Piranhas que abastece o município de Ibiara com 5.858 hab. As demandas são de 28,56 l/s; 6,7 l/s, respectivamente. Essas demandas para o abastecimento urbano a serem atendidas pelos respectivos reservatórios foram obtidas com base no Estudo do Plano Diretor da Bacia (SCIENTEC, 1997), para o horizonte de 2013.

#### 3.3.4.2 – IRRIGAÇÃO

De acordo com o trabalho de Silva (2004), as culturas selecionadas foram obtidas a partir do *Manual de Orçamentos Agropecuários do Banco do Nordeste S/A, 2003*, levando em consideração dois pontos importantes na análise do comportamento hídrico do sistema: a aptidão agrícola, segundo os estudos de viabilidade dos projetos e também dos sistemas de irrigação implantados.

Silva (2004) criou um cenário utilizando-se um total de 23 culturas, entre as quais, oito eram perenes e o restante eram culturas sazonais. Silva (2004) verificou entre os resultados desse cenário, que houve culturas que tiveram receitas líquidas positivas e negativas. Com isso, ele selecionou as culturas perenes e sazonais com receitas positivas e determinou duas novas culturas: uma representativa das perenes, cuja característica foi tida como a média aritmética das características das culturas perenes com receita líquida positiva, e outra representativa das sazonais, com característica formada com a média das características das culturas sazonais com receita líquida positiva. Esta cultura sazonal foi subdividida em doze culturas, cuja diferença entre elas é apenas o mês de início no plano cultural. Por exemplo, a cultura sazonal 1 com início de plantio no mês 1, a cultura sazonal 2 com início de plantio no mês 2, e assim sucessivamente.

Segundo o trabalho de Silva (2004), as culturas cujas receitas líquidas foram positivas foram: banana, coco, maracujá, graviola, mamão, pinha, goiaba, algodão (entressafra), milho

(entressafra), melancia (entressafra), cebola (entressafra), tomate (safra) e tomate (entressafra), onde as sete primeiras são perenes e as seis últimas são sazonais.

Nas Tabelas 3.5 e 3.6 pode-se observar as médias das características usadas para as duas culturas representativas das culturas reais, como: produtividade (Prod) em kg/ha/cultura; preço médio (Prc) em R\$/ha/cultura; custo médio de produção (Cprod) em R\$/ha/cultura; trabalho requerido (Hdc) em homens dia/ano/cultura/ha; custo do trabalho (Ctrab.) em R\$/homem dia/cultura; valor percentual da eficiência do sistema de distribuição para irrigação (Esis); valor percentual da aplicação da irrigação (Eapl); custo anual de manutenção do sistema de irrigação (Cman) em R\$/ano/ha; custo de investimento de implantação do sistema (Pirr) em R\$/ha; vida útil do sistema de irrigação (Vútil) em anos; taxa anual de amortização (Amort.) em %/ano e custo anual de bombeamento (Cbomb.) em R\$/ano. O sistema de irrigação utilizado foi o de microaspersão.

Tabela 3.5 - Média das características das culturas com receita líquida positiva.

Cultura	Prod	Prc	Cprod	Hdc	Ctrab	Esis	Eapl	Cman	Pirr	Vútil	Amort.	Cbomb
Perene	17388	0,65	2480	143	8	90	90	52	3000	10	8	564,7
Sazonal	19167	0,53	2278	107	7,5	90	83	50	3000	10	8	274,5

Tabela 3.6 - Distribuição dos coeficientes de cultivo médios (k<sub>c</sub>'s) das culturas com receita líquida positiva

Cultura	Meses do ano hidrológico											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perene	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Sazonal 1	0,58	0,86	1,08	0,79								
Sazonal 2		<b>0,58</b>	0,86	1,08	0,79							
Sazonal 3			0,58	0,86	1,08	0,79						
Sazonal 4				0,58	0,86	1,08	0,79					
Sazonal 5					0,58	0,86	1,08	0,79				
Sazonal 6						0,58	0,86	1,08	0,79			
Sazonal 7							0,58	0,86	1,08	0,79		
Sazonal 8								0,58	0,86	1,08	0,79	
Sazonal 9									0,58	0,86	1,08	0,79
Sazonal 10	0,79									0,58	0,86	1,08
Sazonal 11	1,08	0,79									0,58	0,86
Sazonal 12	0,86	1,08	0,79									0,58

Segundo Silva (2004), nessas condições, será possível verificar todo potencial de uso de água dos reservatórios. Portanto com relação à irrigação, utilizou-se, neste estudo, a mesma metodologia de Silva (2004), no que diz respeito à utilização de culturas representativas das culturas reais.

### 3.3.5 – RELAÇÕES COTA X ÁREA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS

Para a determinação das relações cota x área x volume dos reservatórios, aplicou-se o aplicativo LabFit (Silva e Silva, 2004), entrando com dados de cota, área e volume no



programa, obtendo por meio de uma análise de regressão, as funções matemáticas que melhor representavam esses dados. As Tabelas 3.7 à 3.9 mostram as equações obtidas.

Tabela 3.7 – Relações Cota X Volume dos reservatórios

Reservatório	Curvas Ajustadas
Condado	$C_j = 48,387 * V_j^{0,4269*10^{-3} * V_j^{0,2428}}$
Santa Inês	$C_j = -0,4628 * 10^5 / -630,25 + V_j^{0,2999}$
Serra Vermelha I	$C_j = 0,0737 * V_j^{0,3491} + 71,197$
Piranhas	$C_j = 1 / (0,1049 - 0,4901 * 10^{-2} * \log(V_j)) + 55,832$
Video	$C_j = 1 / 0,1636 * 10^{-2} - 0,5961 * 10^{-6} * V_j^{0,2779}$
Vazante	$C_j = (0,5993 * 10^9 + 0,5356 * 10^4 * V_j)^{0,1527}$

Onde:  $C_j$  – Cota do espelho d’água do reservatório (m),  $V_j$  – Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

Tabela 3.8 – Relações Área x Cota dos reservatórios

Reservatório	Curvas Ajustadas
Condado	$A_j = 0,5789 * 10^9 / C_j + 0,5041 * 10^8 * \exp(-110,25 / C_j) - 0,1712 * 10^8$
Santa Inês	$A_j = -0,24 * 10^8 + 0,2256 * 10^6 * C_j + 0,3980 * 10^{11}$
Serra Vermelha I	$A_j = 0,1793 * 10^{11} * C_j^{-187,59 / C_j} - 3955 * C_j$
Piranhas	$A_j = 0,2841 * 10^8 - 0,4195 * 10^{10} / C_j + 0,1548 * 10^{12} / C_j^2$
Vidéo	$A_j = 0,1584 * 10^{10} - 0,1941 * 10^{13} / C_j + 0,5943 * 10^{15} / C_j^2$
Vazante	$A_j = 0,1470 * 10^8 * \exp(-17,96 * \exp(-0,0457 * C_j))$

Onde:  $C_j$  – Cota do espelho d’água do reservatório (m),  $A_j$  – Área da bacia hidráulica do reservatório (m<sup>2</sup>)

Tabela 3.9 – Relações Volume x Cota dos reservatórios

Reservatório	Curvas Ajustadas
Condado	$V_j = 0,1723 * 10^5 * C_j^{2,171} - 0,8428 * 10^9 * \exp(-115,43 / C_j)$
Santa Inês	$V_j = 0,2816 * 10^7 * C_j - 73449 * C_j^2 + 478,94 * C_j^3$
Serra Vermelha I	$V_j = 1 / (-0,1313 + 0,2538 * C_j^2)^{-0,2402}$
Piranhas	$V_j = 0,9705 * 10^8 * \exp(-662,53 * \exp(-0,0602 * C_j))$
Vidéo	$V_j = 0,1248 * 10^8 * \exp(((\log(C_j) - 6,457)^2) / -0,2448 * 10^{-3})$
Vazante	$V_j = (-16,65 + 1,273 * C_j)^{4,401}$

## 3.3.6 - VOLUMES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS RESERVATÓRIOS

De acordo com o cadastro dos açudes contido no PDRH/PB (SCIENTEC,1997), os volumes máximos dos reservatórios são os apresentados na Tabela 3.10. Por falta de informações sobre os volumes mínimos, considerou-se o valor deste volume como sendo 10% do volume máximo (Silva, 2004).

Tabela 3.10 – Volumes máximo e mínimo dos açudes

Reservatório	Volume Máximo (m <sup>3</sup> )	Volume Mínimo (m <sup>3</sup> )
Condado	35.016.302,00	3.501.630,20
Santa Inês	26.115.250,00	2.611.525,00
Serra Vermelha I	11.801.173,00	1.180.117,30
Piranhas	25.696.200,00	2.569.620,00
Vídeo	6.040.263,00	604.026,30
Vazante	9.091.200,00	909.120,00

## 3.3.7 – VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS NO RIO

Assim como em Silva (2004), não foram considerados, neste estudo, limitações de vazões mínimas para os trechos dos rios a jusante dos reservatórios. As vazões a serem liberadas pelos reservatórios para abastecimento da demanda para irrigação serão variáveis de acordo com a variação mensal das necessidades das culturas, podendo, em determinados meses, ser nula.

Com relação às vazões máximas, foi considerada uma vazão máxima permitida de tomada d'água para irrigação de 4 m<sup>3</sup>/s, em cada reservatório.

## 3.3.8- DESCARREGADOR E VERTEDOUROS

Os dados necessários para a determinação de vazões descarregadas e vertidas, conforme equações (3.1) e (3.2) são mostrados na Tabela 3.11 e na Tabela 3.12.

$$Qf_t = C_f * Af * (2g * (Hr_t - Hf))^{0,5} \quad (3.1)$$

Onde:

$Qf_t$  – vazão aduzida pelo descarregador do reservatório no mês t;

$C_f$  – coeficiente de vazão do descarregador;

$Af$  – área da seção transversal do descarregador em m<sup>2</sup>;

$Hr_t$  – cota do nível d'água do reservatório no mês t em m;

$Hf$  – cota de jusante da geratriz inferior do descarregador em m.

Tabela 3.11 - Dados das tomadas d'água usados para obtenção das vazões mensais a serem liberados pelos reservatórios.

Reservatório	Coefficiente de Vazão ( $C_f$ )	Diâmetro do tubo (mm)	Área da seção transversal ( $m^2$ )	Cota da tomada d'água (m)
Condado	0,80	500	0,196	62,00
Santa Inês	0,80	500	0,196	84,00
Serra Vermelha I	0,80	400	0,126	82,00
Piranhas	0,80	500	0,196	86,00
Vídeo	0,80	200	0,031	62,20
Vazante	0,80	150	0,018	32,00

Dados retirados da dissertação de mestrado de Silva (2004)

As vazões mensais extravasadas pelos vertedores foram determinadas pela Equação (3.2).

$$Q_{v_t} = C_v * B_v * (Hr_t - H_{vert})^{1,5} \quad (3.2)$$

Onde,  $Q_{v_t}$  – Vazão de vertimento;  $C_v$  – Coeficiente de descarga do vertedor;  $B_v$  – Largura de base do Vertedor;  $Hr_t$  – Cota do nível d'água do reservatório no mês t; e  $H_{vert}$  – Cota da soleira do vertedor.

As vazões vertidas somente serão calculadas se for satisfeita a condição  $H_{vert} \leq Hr_t \leq H_{v_{max}}$ , onde  $H_{v_{max}}$  é a cota do nível do reservatório que causaria a lâmina vertente máxima projetada para o sangrador. Na Tabela 3.12, estão mostrados os valores dos parâmetros usados para estimativa das vazões mensais extravasadas para os seis reservatórios estudados.

Tabela 3.12 - Parâmetros adotados para estimativa das vazões vertentes máximas.

Reservatório	Coef. de descarga do Vertedor ( $C_v$ )	Largura do Vertedor ( $B_v$ ) (m)	Cota da soleira do Vertedor – $H_{vert}$ (m)
Condado	0,492	100	80,0
Santa Inês	0,492	50,0	100
Serra Vermelha I	0,492	45,0	93,0
Piranhas	0,492	96,0	103,0
Vídeo	0,492	53,0	629,0
Vazante	0,492	72,2	43,0

Dados retirados da dissertação de mestrado de Silva (2004)

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia utilizada neste trabalho parte inicialmente da criação de cenários hidrológicos e agrícolas.

Existem três razões para a utilização desses cenários 1) Saber o potencial de utilização dos recursos hídricos dos reservatórios em anos de seca, principalmente no cultivo de culturas perenes, 2) A dificuldade de utilização de uma série temporal extensa em um modelo de otimização, que leva em consideração muitas variáveis de decisão e que é baseado em técnicas de programação não-linear e 3) A incerteza de como serão os regimes pluviométricos/fluviométricos em anos posteriores aos anos em estudo. Portanto, foram criados dois cenários hidrológicos para este estudo, o cenário Seco e o cenário Médio. Cada um deles será detalhado nas próximas seções.

#### 4.1 – CENÁRIOS HIDROLÓGICOS

##### 4.1.1 – CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO

O cenário hidrológico Seco é caracterizado por ser aquele ano mais seco das séries fluviométricas, ou seja, o ano que possui a menor média de volume anual escoado.

Essas séries de influxos mensais aos reservatórios foram retiradas do SCIENTEC, Plano Diretor de Recursos Hídricos, Bacia Alto Piranhas/ Piancó, como mencionado no Capítulo III. Ela é uma série de 53 anos de dados sintéticos gerados através do modelo chuva-vazão (MODHAC). As séries estão nos Anexos de 4 a 9 .

##### 4.1.2 – CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO

O cenário hidrológico médio é aquele ano representado pela média dos influxos de toda a série, ou seja, o valor da vazão de cada mês deste ano é caracterizado como a média de toda a série do respectivo mês.

#### 4.2 – CENÁRIOS AGRÍCOLAS

Como foi mencionado no Capítulo III, foram utilizadas neste estudo as culturas representativas propostas por Silva (2004), que são treze: uma cultura perene representativa e

doze representando as culturas sazonais, as quais são plantadas de acordo com o plano cultural mostrado na Tabela 3.7.

Portanto os cenários agrícolas considerados em cada cenário hidrológico citado anteriormente são:

#### 4.2.1 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO

##### 4.2.1.1 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) - *Perene + Sazonais*

Neste cenário, o objetivo será obter a melhor alocação de área tanto para a cultura perene como para as sazonais;

##### 4.2.1.2 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA2) – *Só culturas Perenes*

Este cenário é muito importante, onde será verificado o potencial do uso das águas de cada reservatório, em alocar área apenas para culturas perenes.

#### 4.2.2 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO

##### 4.2.2.1 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) - *Perene + Sazonais*

Já definido anteriormente em 4.2.1.1.

##### 4.2.2.2 - CENÁRIO AGRÍCOLA (CA3) – *Perene Fixa (Cenário Seco) + Sazonais.*

Este cenário é caracterizado por tomar aquelas áreas das culturas perenes obtidas do cenário hidrológico Seco de cada sistema de reservatórios e colocá-las como restrição do problema, ou seja, as áreas das culturas perenes do cenário Seco são fixadas neste cenário médio e o modelo de otimização a ser utilizado encontrará às áreas ótimas para as culturas sazonais.

Essa política é tecnicamente viável, pois como não se tem uma previsão perfeita de como serão os regimes hidrológicos ao longo dos anos, essa técnica permite garantir que as culturas perenes não sofram déficits hídricos durante anos críticos de seca.

### 4.3 – INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA – ISH

Depois de criados os cenários hidrológicos e agrícolas, vale ressaltar um conceito de sustentabilidade hídrica proposto neste estudo.

O indicador de Sustentabilidade Hídrica (ISH) impõe que no final do processo de otimização, os volumes finais dos reservatórios sejam iguais ou maiores aos volumes do início do período, ou seja, quando o  $ISH=100\%$ , significa que a condição de sustentabilidade hídrica do sistema é atendida. No caso por exemplo de  $ISH = 40\%$ , significa que o volume do reservatório ao final do período de otimização deverá ser maior ou igual a 40% do volume inicial.

Este indicador é bastante influente nos resultados e às vezes é necessário reduzi-lo para cenários hidrológicos críticos, para que se obtenha algum resultado, sem violação de restrições do sistema.

Portanto, neste estudo foi utilizado a seguinte critério com relação ao ISH.

#### 4.3.1 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO

O valor do ISH para este cenário hidrológico foi variado de 100% a 40% a fim de se escolherem os melhores resultados obtidos pelo modelo de otimização a ser utilizado.

#### 4.3.2 - PARA O CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO

Para o cenário médio fixou-se o ISH igual a 100%.

### 4.4 – CONDIÇÕES DE MÊS INICIAL

A fim de verificar que influência tem as condições de mês inicial no processo de otimização, variar-se-á a condição de mês inicial para o cenário médio, e serão analisadas as variações ocorridas nos resultados, caso tenham ocorrido, tanto de áreas irrigadas quanto de receitas líquidas.

Os volumes iniciais dos reservatórios no início de cada mês foram obtidos, utilizando-se o modelo de otimização sem nenhuma demanda atrelada a ele, ou seja, verificando apenas o efeito do balanço hídrico mês a mês. Este procedimento permitiu inferir quais seriam os volumes iniciais em cada reservatório para cada mês do ano. Como o modelo de otimização gera resultados dos volumes no final de cada mês, o volume inicial em um mês será o volume final do mês antecedente.

Para o cenário Seco, não será feita essa análise e considerar-se-á como mês inicial o mês de Agosto, pois, segundo Silva (2004), é muito provável que nesse mês os reservatórios estejam com mais de 40% de suas capacidades.

#### 4.5 – APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Definidos os cenários hidrológicos e agrícolas, as condições de sustentabilidade e condições iniciais para cada um deles, aplicar-se-á para cada reservatório, o modelo de otimização a fim de se determinarem as áreas ótimas alocadas para as culturas. O detalhamento do modelo será visto no próximo capítulo.

Para cada cenário serão escolhidos os melhores resultados em termos de área irrigada e receita líquida.

Com relação ao cenário hidrológico Seco, serão escolhidos os melhores resultados quanto às variações da condição de sustentabilidade (ISH), principalmente no cenário agrícola (CA2), onde se verificará a capacidade de cada reservatório em irrigar culturas perenes em anos de seca, para que esse resultado seja tido como valor fixo do cenário agrícola (CA3) do cenário hidrológico médio.

Com relação ao cenário hidrológico Médio, analisar-se-á a influência da condição mês inicial nos resultados da otimização para cada sistema, para cada cenário agrícola relativo a esse cenário hidrológico, no caso, o (CA1) e o (CA3), escolhendo, portanto, os melhores resultados em termos de área irrigada e receita líquida.

#### 4.6 – APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Sendo um dos objetivos específicos da pesquisa, procurar-se-á verificar o comportamento de cada sistema de reservatório durante um período longo de anos (no caso, 53 anos) quando os mesmos forem submetidos às exigências em termos de demandas hídricas encontradas nos resultados das otimizações.

Portanto, verificar-se-ão as eventuais falhas que poderão ou não ocorrer durante todo o período simulado para cada sistema de reservatório, falhas essas com relação ao atendimento às demandas hídricas para irrigação obtidas no modelo de otimização. E ocorrendo falhas, serão verificadas a quantidade delas e a frequência de ocorrências quantificando-se também, quantificar os déficits hídricos totais durante todo o período de simulação.

De posse dos resultados do modelo de simulação, será possível, então, calcular os indicadores de desempenho de cada sistema (Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade), definidos no Capítulo II, o que constitui, também, objetivo desta pesquisa.

Finalmente serão calculados os indicadores de sustentabilidade e vulnerabilidade das bacias de contribuição de cada reservatório, assim como os indicadores de desempenho das áreas irrigadas pelas águas desses reservatórios. O Fluxograma da metodologia desta pesquisa está mostrado na Figura 4.1

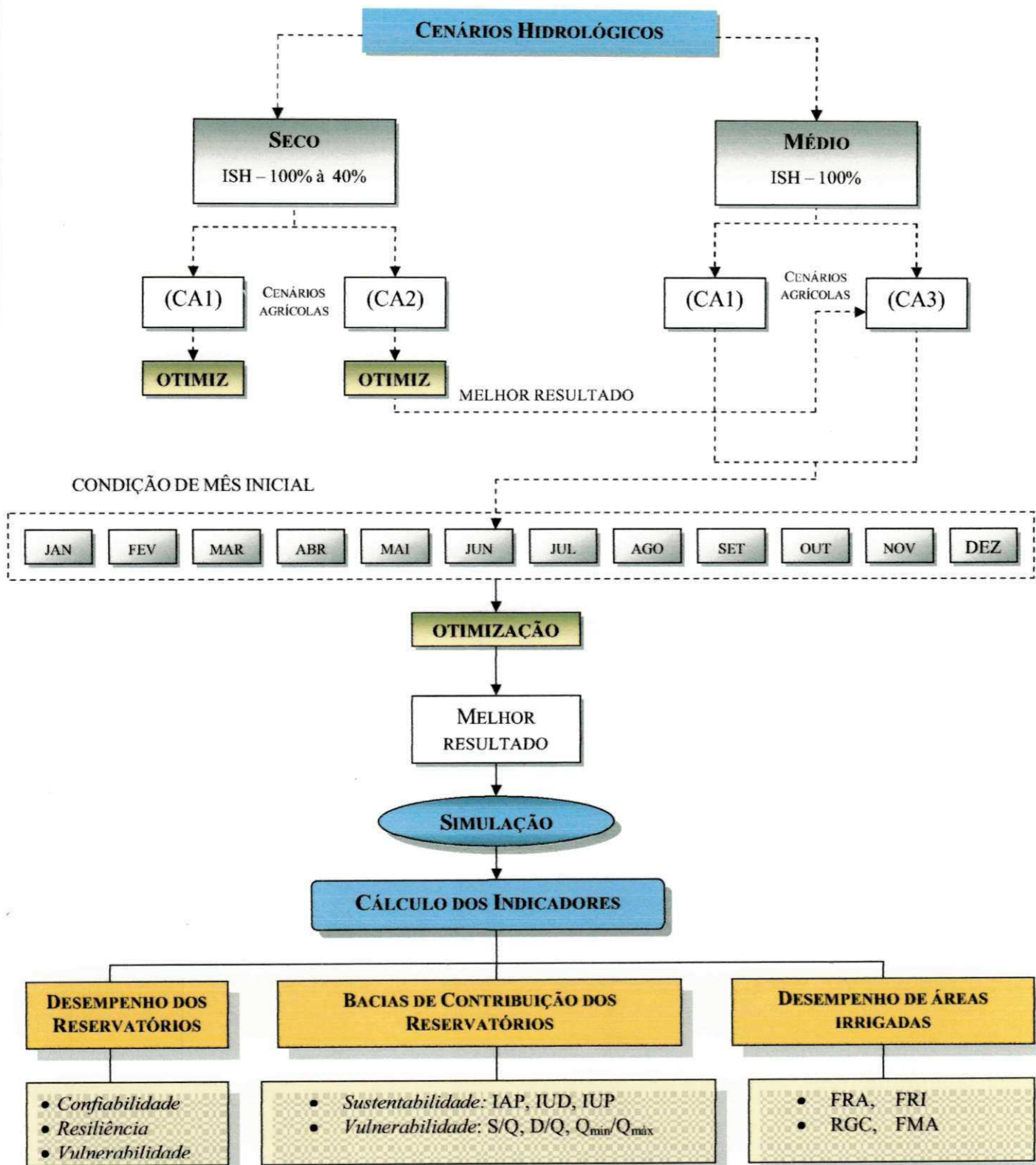


Figura 4.1 - Fluxograma da Metodologia Utilizada



## CAPÍTULO V

### O MODELO DE OTIMIZAÇÃO - ORNAP

O modelo de otimização a ser utilizado nesta pesquisa é o Modelo ORNAP, desenvolvido por Curi e Curi (2003). É um modelo de base mensal, o qual resolve o problema de otimização via programação não-linear. Sua função será encontrar a melhor alocação de áreas entre as culturas perenes e sazonais, assim como as demandas hídricas para cenários hidrológicos e agrícolas considerados.

#### 5.1 - CONCEITUAÇÕES

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

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

## 5.2 – ASPECTOS TEÓRICOS

### 5.2.1 – DA AGRICULTURA IRRIGADA

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

$$Rb_{jt} = \sum_{k=1}^{Ni} Prod_{jt} * Prc_j * Ac_{jk} \quad (5.1)$$

onde:

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

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

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

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

Para se determinar a quantidade de água alocada para a irrigação, isto é, a lâmina de rega, avalia-se, em primeiro passo, a necessidade hídrica máxima mensal da planta para desempenhar as atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calcula-se a taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura  $j$  no mês  $t$  e perímetro  $k$ ,  $Etp_{jtk}$  em mm/mês, que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evapotranspiração de referência no mês  $t$  no perímetro  $k$ ,  $Eto_{kt}$  em mm/mês, que, por sua vez, pode ser representada por (Gomes, 1999):

$$E_{tO_{kt}} = K_{Tk} * E_{v_{kt}} \quad (5.3)$$

onde:

$t$  – indica o mês,  $t=1, \dots, nm$ ;

$nm$  – número de meses em estudo;

$K_{Tk}$  – coeficiente do tanque evaporimétrico no perímetro  $k$  e

$E_{v_{kt}}$  - taxa de evaporação média mensal em mm/mês de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A, colocado na região do perímetro  $k$ . Logo:

$$E_{tp_{jkt}} = K_{c_{jt}} * E_{tO_{kt}} \quad (5.4)$$

onde:  $K_{c_{jt}}$  – coeficiente de cultivo no mês  $t$  da cultura  $j$  que reflete a sua necessidade hídrica em função de sua fase de crescimento.

Para se determinar a lâmina de rega, é necessário calcular, sob o ponto de vista agrônômico, a taxa da precipitação que infiltra no solo e efetivamente permanece à disposição das raízes da planta, isto é, a precipitação efetiva no mês  $t$  no perímetro  $k$ ,  $P_{ce_{kt}}$  em mm/mês, na região a ser irrigada, que é estimada a partir de (especificação da FAO, 1998, para terrenos com declividade de 4 a 5%):

$$P_{ce_{kt}} = 0,8 * P_{c_{kt}} - 25 \text{ se } P_{c_{kt}} \geq 75 \text{ mm} \quad (5.5)$$

$$P_{ce_{kt}} = 0,6 * P_{c_{kt}} - 10 \text{ se } P_{c_{kt}} < 75 \text{ mm} \quad (5.6)$$

onde:  $P_{c_{kt}}$  - taxa de precipitação no mês  $t$  em mm/mês que ocorre no perímetro  $k$ .

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

$$N_{l_{jkt}} = E_{tp_{jkt}} - P_{ce_{kt}} - G_{jkt} - W_{kt} \quad (5.7)$$

onde:

$G_{jkt}$  – dotação de água à zona radicular da cultura  $j$  no mês  $t$  por capilaridade em mm que depende do tipo de solo e do nível do aquífero do perímetro  $k$ , e

$W_{kt}$  – reserva de água no solo no início do mês  $t$  em mm, que depende da capacidade de armazenamento de água no solo no perímetro  $k$ .

A quantidade de água a ser aduzida para cada tipo de cultura  $j$  dependerá, também, da eficiência do sistema de irrigação,  $Eirr_{jk}$  que, por sua vez, é resultado do produto entre a eficiência do sistema de distribuição de água para cada perímetro,  $Esis_{jk}$ , e da eficiência da aplicação da irrigação por cultura,  $Eapl_j$ , ou seja:

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

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

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

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

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

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

onde:  $Pra_k$  – preço da água por unidade de volume, aduzida para o perímetro  $k$ .

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

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

em que:

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

$\sum_{l=1}^t (1 + dc_{jl})$  = fator de atualização monetária referente à expectativa de crescimento ou decréscimo nos preços  $dc_{jl}$ , além do nível de inflação, da cultura  $j$  no ano

l, que pode ser positiva ou negativa.

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

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

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

$$\sum_{j=1}^{nc} Q_{irr_{jkt}} * A_{c_{jk}} \leq Q_{tmax_k} \quad (5.12)$$

onde  $Q_{tmax_k}$  representa a capacidade máxima mensal de vazão da adutora ou canal para o perímetro  $k$ .

Conforme já citado anteriormente, devem existir restrições quanto ao limite máximo mensal da área que pode ser plantada por perímetro em cada mês, que podem ser expressas por:

$$\sum_{j=1}^{nc} \alpha_{jkt} * A_{c_{jk}} \leq A_{pmax_{kt}} \quad (5.13)$$

em que:  $\alpha_{jkt} = 1$  se a cultura  $j$  é plantada no mês  $t$  no perímetro  $k$ , ou  $\alpha_{jkt} = 0$  se a cultura  $j$  não é plantada no mês  $t$  no perímetro  $k$ ;  $A_{pmax_{kt}}$  – limite máximo de área total que pode ser plantada por perímetro no mês  $t$ .

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

$$A_{cmin_{jk}} \leq A_{c_{jk}} \leq A_{cmax_{jk}} \quad (5.14)$$

Onde  $A_{cmin_{jk}}$  é a área mínima plantada com a cultura  $j$  no perímetro  $k$  e  $A_{cmax_{jk}}$  é a área máxima plantada com a cultura  $j$  no perímetro  $k$ .

## 5.2.2. DOS RESERVATÓRIOS E SEUS COMPONENTES

No ORNAP, os reservatórios podem ser conectados, via pontos de conexão denominados nós do sistema, a outros elementos, a jusante deles, através dos descarregadores de fundo, vertedouros e tomadas d'água. A vazão em cada um destes elementos depende de seus parâmetros hidráulicos e do nível de água no reservatório. Por outro lado, o reservatório pode estar conectado a um nó a montante que venha a receber vazões afluentes. Portanto, o balanço hídrico mensal de cada reservatório, que é baseado no princípio de conservação da massa e determina a variação mensal do volume nele armazenado, pode ser expresso pela seguinte equação:

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

- Onde,  $\alpha(l)$  - índice que representa a  $\alpha$ -ézima vazão afluente ao reservatório l;  
 $f(l)$  - índice que representa o f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l;  
 $t(l)$  - índice que representa a t-ézima tomada de água do reservatório l;  
 $v(l)$  - índice que representa o v-ézimo vertedouro do reservatório l;  
 $Vr_{lt}$  - volume do reservatório l no mês t;  
 $Vr_{l,t+1}$  - volume do reservatório l no mês t+1;  
 $Qa_{\alpha(l),t}$  -  $\alpha$ -ézima vazão afluente ao reservatório l no mês t;  
 $Qf_{f(l),t}$  - f-ézima vazão de descarga de fundo do reservatório l no mês t;  
 $Qt_{t(l),t}$  - t-ézima vazão de tomada d'água do reservatório l no mês t;  
 $Pr_{lt}$  - precipitação direta no reservatório l no mês t;  
 $Evr_{lt}$  - taxa de evaporação sobre o reservatório l no mês t,  
 $Ar_{lt}$  - área média do espelho d'água do reservatório l no mês t e  
 $Qv_{v(l),t}$  - e-ézimo volume vertido do reservatório l no mês t.

Dependendo das vazões afluentes, a alocação mensal de água do reservatório para os diversos usos, as áreas da superfície líquida, as cotas do nível de água e os volumes mensais do reservatório variam de mês a mês sendo, portanto, necessário atualizá-los mensalmente.

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

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

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

onde  $Qtmax_{(l),t}$  é a vazão máxima de adução pela t-ézima tomada d'água do reservatório l;  $Hr_{lt}$  a cota do nível d'água do reservatório l no mês t; e  $Ht_{(l)}$  a cota da t-ézima tomada d'água no reservatório l.

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

$$0 \leq Qf_{(l),t} \leq Cf_{(l)} * Af_{(l)} * (2 * g * (Hr_{lt} - Hf_{(l)}))^{0,5} \quad (5.18)$$

Onde  $Cf_{(l)}$  é o coeficiente de vazão do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l,  $Qf_{(l),t}$  é a vazão máxima que pode ser aduzida pelo f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l no mês t,  $Af_{(l)}$  é a área da seção transversal do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l e  $Hf_{(l)}$  representa a cota de jusante da geratriz inferior do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l.

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

$$Qv_{(l),t} = Cv_{(l)} * Bv_{(l)} * (Hr_{lt} - Hvert_{(l)})^{1,5} \quad (5.19)$$

Onde  $Cv_{(l)}$  é o coeficiente de descarga dependente da forma do v-ézimo vertedor do reservatório l,  $Bv_{(l)}$  é a largura de base do v-ézimo vertedouro do reservatório l e  $Hvert_{(l)}$  – cota da soleira do v-ézimo vertedouro do reservatório l.

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

$$Hvert_{(l)} \leq Hr_{lt} \leq Hvmax_{(l)} \quad (5.20)$$

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

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

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

Onde  $Vr_{morto(l)}$  é o volume morto e  $Vrmax_{(l)}$  é a capacidade máxima, referidos ao reservatório .

Outras restrições por critérios operacionais podem ser impostas ao problema, que podem ser dadas por:

$$Vrmin_{lt} \leq Vr_{lt} \leq Vrmax_{lt} \quad (5.22)$$

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

### 5.2.3. OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA

Dentre os componentes do sistema hídrico, para o ORNAP, estão as calhas dos rios cujas vazões podem estar limitadas por valores inferiores, indicando requerimentos de regularizações e de vazões ecológicas para saneamento do rio, ou superiores, para o controle de cheias, que podem ser descritas matematicamente por:

$$Qcmin_{ct} \leq Qc_{ct} \leq Qcmax_{ct} \quad (5.23)$$

Onde c é o índice que indica a calha (trecho) de rio,  $Qcmin_{ct}$  é a vazão mínima na c-ézima calha de rio no mês t,  $Qc_{ct}$  - vazão na c-ézima calha do rio no mês t, e  $Qcmax_{ct}$  é a vazão máxima na c-ézima calha de rio no mês t.

Além destas restrições, o modelo promove ainda o balanço em cada nó do sistema, como segue:

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

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

Finalmente, a receita líquida (RL) oriunda de atividades piscícolas no reservatório pode ser dada por:

$$Rl = (Prmp_l * Pdp_l - Cal) * (min_t Ar_{lt}) \quad (5.25)$$

Onde  $Prmp_l$  representa o preço médio do pescado na região do reservatório l,  $Pdp_l$  é a produtividade média de pescado por unidade de área,  $Cal$  é o custo de alevinagem por unidade de área e  $min_t Ar_{lt}$  é a área da superfície líquida mínima, entre os meses t de despesca, no reservatório l.



#### 5.2.4. ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DA OTIMIZAÇÃO

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

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

- O erro relativo na função objetivo ( $fo$ ), dado por:  $erro_{fo} = |(fo_t - fo_{t-1}) / fo_t|$ ;
- O erro relativo na função de penalidade ( $fp$ ), dado por:  $erro_{fp} = |(fp_t - fp_{t-1}) / fp_t|$  e
- O erro relativo na função mista ( $fm$ ), dado por:  $erro_{fm} = |(fp_t - fo_t) / fo_t|$ ,

Esses valores devem respeitar um certo nível de tolerância (**tol**) especificado para o sistema a ser otimizado. Para esse trabalho, está sendo analisada uma tolerância da ordem de  $10^{-4}$ . O programa fornece, ainda, resultados para análise de convergência de restrições, dentro da tolerância requerida, descrevendo o tipo de restrição violada, ou não, suas quantidades mensais e valores totais.

### 5.3. FLUXOGRAMA DO MODELO

O fluxograma geral do modelo está apresentado na Figura 5.1. É importante ressaltar que as saídas do modelo, possibilitando extensivas análises de desempenho do sistema hídrico em estudo, determinam valores mensais para volumes, cotas e áreas de espelho d'água, vazões mensais de afluxos, de descargas e de sangria, por reservatório; vazões mensais nas tomadas d'água e nas calhas do rio; vazões mensais para irrigação por perímetro, áreas irrigadas e mão de obra alocadas por cultura e por perímetro; receita líquida anual auferida

por cultura em cada perímetro; áreas mínimas de espelho d'água, produção de pescado, mão de obra e receita líquida anual advinda da piscicultura, para cada reservatório. O programa ainda gera resultados para análise da convergência do processo iterativo e de restrições, dentro da tolerância requerida, descrevendo o tipo das restrições violadas, ou não, suas quantidades mensais e valores totais, seja em vazões, volumes, níveis ou áreas.

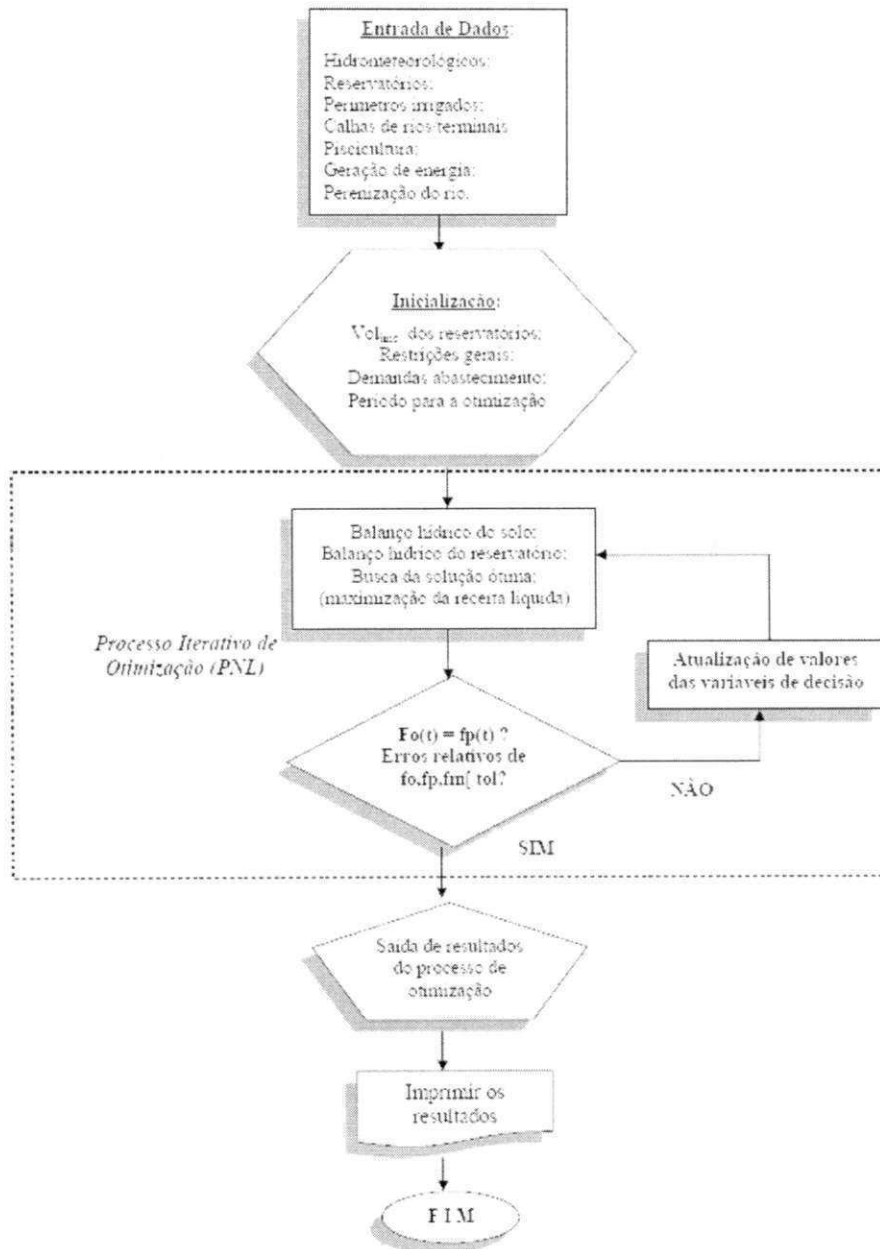


Figura 5.1 – Fluxograma do Modelo de Otimização - ORNAP

## CAPÍTULO VI

## O MODELO DE SIMULAÇÃO - ACQUANET

Para verificar o comportamento em longo prazo de cada reservatório estudado nesta pesquisa, o modelo de simulação escolhido foi o ACQUANET, que é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Com ele, podem-se montar redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais. A razão da escolha do modelo ACQUANET como modelo de simulação da operação dos reservatórios se deu em virtude de que, apesar do mesmo ser um modelo de rede de fluxo, ele também se adapta bem para análise individual de um reservatório e, os resultados gerados pelo modelo são adequados às necessidades de informação requerida por este trabalho.

**6.1 - GENERALIDADES**

Aparentemente, o ACQUANET, desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da USP (2002), é bem semelhante ao modelo MODSIMP32, que é um modelo de rede de fluxo desenvolvido na Colorado State University sob liderança do Prof. John Labadie (LABADIE *et al.* 1984 e AZEVEDO *et al.*, 1997). Entretanto, os dois modelos são completamente diferentes quando se considera o funcionamento e o armazenamento/leitura de dados e resultados. O MODSIMP32 funciona com arquivos próprios e é completamente responsável pela criação e atualização destes arquivos. Já o ACQUANET armazena todos os dados e resultados em Bancos de Dados no formato do Microsoft Access e aproveita a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato. A interface do ACQUANET pode ser vista na Figura 6.1.

Uma das principais características do ACQUANET é o fato dele incorporar automaticamente uma série de funções que são comuns na simulação das bacias hidrográficas sem que o usuário tenha de se preocupar em programá-las. Entre as funções que o ACQUANET incorpora, as mais importantes são:

- Os usuários podem colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). O modelo atenderá a estas demandas de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99 (o valor 1 é a maior prioridade);

- A operação do reservatório é feita utilizando o conceito de volume meta ou nível meta, ao qual se atribui uma prioridade. Dessa forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume-meta, o reservatório guardará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores.

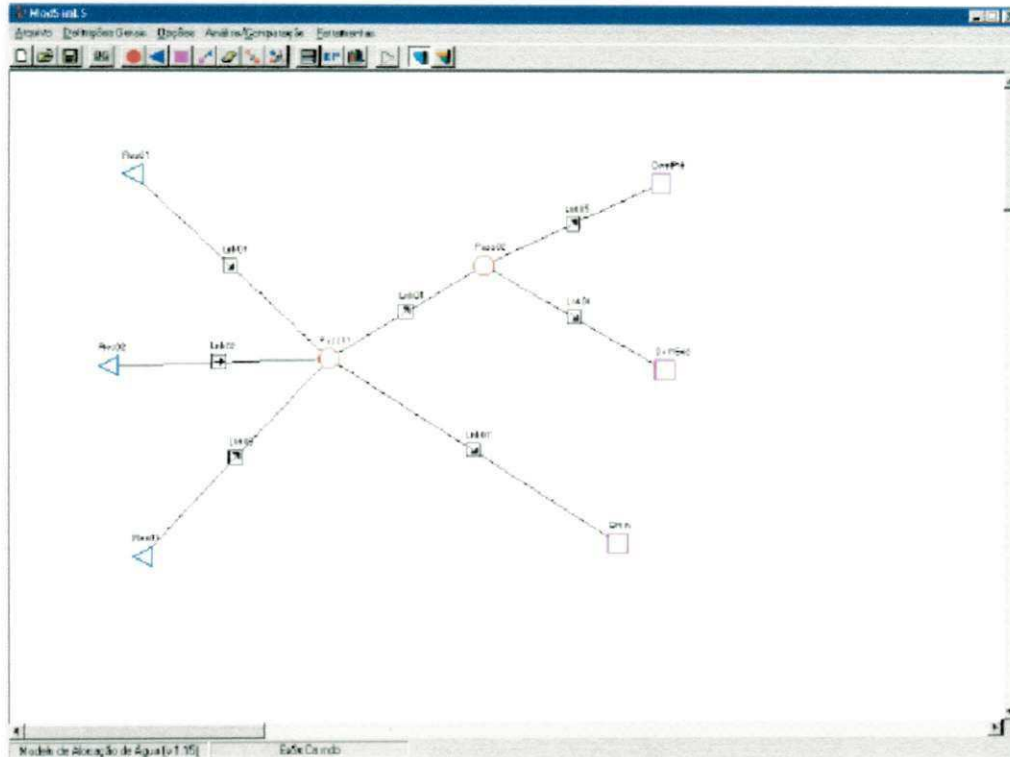


Figura 6.1 – Exemplo de traçado de uma rede

- As perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo.

O modelo desenvolvido pelo LabSid/USP funciona da seguinte maneira:

- Durante a utilização do ACQUANET, todas as ações feitas são imediatamente armazenadas em um banco de dados temporário, que existe somente durante a utilização do modelo;
- Ao iniciar, pode-se começar um novo projeto ou abrir um projeto previamente gravado;
- Se for iniciado um novo projeto, um novo banco de dados temporário será criado;
- Quando se abre um projeto existente, o ACQUANET cria uma cópia deste projeto, que passa a ser o banco de dados temporário;

- No banco de dados temporário, são armazenadas todas as informações fornecidas (traçado e dados de entrada).

## 6.2. TIPOS DE SIMULAÇÃO

Assim como o modelo MODSIMP32, o ACQUANET pode efetuar os cálculos de maneira seqüencial no tempo (Simulação Contínua) ou estatisticamente (Planejamento Tático).

### 6.2.1 - SIMULAÇÃO CONTÍNUA

Na Simulação Contínua, o valor mais importante é o número total de anos de simulação (chamado de NT). O usuário deve fornecer séries de vazões afluentes mensais com duração igual a NT. O modelo irá efetuar os cálculos continuamente, para todos os anos existentes. Ao final do cálculo, os resultados serão fornecidos mensalmente para todos os anos.

A simulação é dita contínua porque o modelo executa os cálculos da seguinte maneira:

- No primeiro ano, o modelo parte com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos e efetua os cálculos até o final deste ano;
- No segundo ano, parte-se com volumes iniciais iguais aos volumes finais do ano anterior;
- O procedimento é repetido até o ano NT;
- Os resultados da simulação são fornecidos de forma contínua, do primeiro ao último ano.

Quando as séries de vazões são relativamente longas, os volumes iniciais dos reservatórios passam a ter pequena influência nos resultados. Assim, este tipo de simulação é recomendado para se obter uma idéia inicial do comportamento do sistema em estudo, das prioridades a serem adotadas, etc.. A simulação contínua é recomendada quando se quer ter idéia do comportamento do sistema ao longo do tempo.

### 6.2.2. PLANEJAMENTO TÁTICO

No Planejamento Tático, além do número total de anos de simulação (NT), deve-se fornecer o número de anos do horizonte de simulação (NH). Usualmente adota-se uma NH de dois anos. O horizonte de simulação é o número de anos durante os quais se pretende estudar o comportamento do sistema em análise. Nesse tipo de simulação, os cálculos são efetuados da seguinte maneira:

- Partindo, no primeiro ano, com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos, o modelo efetua os cálculos sequencialmente para NH anos da série de vazões;
- Na segunda rodada o procedimento acima é repetido e os cálculos são efetuados para NH anos, mas partindo do segundo ano da série de vazões;
- O procedimento acima é repetido até que seja efetuado o cálculo partindo-se do ano  $NT - NH + 1$  da série de vazões;
- Os resultados fornecidos são valores estatísticos para todos os meses do horizonte de simulação.

Esta opção de cálculo é a mais recomendada quando o objetivo é fazer o planejamento e/ou a operação de sistemas de reservatórios.

### 6.3. OPÇÕES DE CÁLCULO

As duas opções de cálculo existentes no ACQUANET são *Estados Hidrológicos* e *Calibração*. As diferenças entre essas duas opções estão na entrada de dados e na maneira como o modelo irá efetuar os cálculos. Na opção *Estados Hidrológicos*, o modelo considera o estado hidrológico (quantidade de água armazenada nos reservatórios) para determinar qual o valor de demanda, de volume meta e as prioridades que serão utilizadas no cálculo de cada um dos meses. No ACQUANET o usuário pode utilizar até sete estados hidrológicos, fornecendo valores diferentes das prioridades citadas para cada um dos estados. Se optar por *Calibração*, o modelo efetua os cálculos com os valores fornecidos sem considerar o estado atual do sistema.

### 6.4. DEFINIÇÕES GERAIS

Ao iniciar uma simulação, deve-se fornecer ao modelo diversas informações que servirão de base para a entrada de dados, o cálculo e os resultados. No modelo, existe uma guia (tela) de definições gerais, na qual são escolhidos o tipo de simulação, a opção de cálculo e os valores relacionados com essas opções. A Figura 6.2 mostra a tela de definições gerais.

### 6.5. ENTRADA/EDIÇÃO DE DADOS

A edição de dados se divide em: edição de dados do reservatório, do link e das demandas. Na edição de dados do reservatório como mostra a Figura 6.3; o modelo necessita das séries de vazões afluentes ao sistema, as características físicas do reservatório (volumes máximo e mínimo, volume meta, curvas cota x área x volume e prioridade) e taxas de evaporação.



**Definições Gerais**

**Dados gerais**

Nome do Projeto:  Tolerância dos volumes (%):

Observações:  Tolerância das demandas (%):

Mês inicial da simulação:

**Tipo de Simulação**

Simulação Contínua  
 Planejamento Tático

**Opção de Cálculo**

Estados Hidrológicos  
 Calibração

**Simulação Contínua**

Número total de anos de simulação:

Ano inicial de simulação (ex: 1970):

**Estados Hidrológicos**

Número de Estados Hidrológicos:

Subsistema:

Utilizar Anos Típicos

Figura 6.2 – Tela de Definições Gerais

**Dados do Reservatório Condado**

Características físicas      Prioridade / Volume Meta      Vazão natural / Evaporação

**Vazão natural (m³/s)**

Ano / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1933	0,050	0,570	0,360	0,810	0,580	0,020	0,000
1934	0,010	0,020	0,970	1,990	0,730	0,170	0,000
1935	0,140	0,520	2,080	2,630	4,530	0,870	0,260
1936	0,060	0,260	0,520	0,290	0,080	0,010	0,000
1937	0,040	0,240	0,420	0,190	0,170	0,030	0,000
1938	0,040	0,070	0,280	1,030	0,500	0,030	0,000
1939	0,000					0,110	0,030
1940	0,030					0,890	0,300
1941	0,000					0,000	0,000
1942	0,000	0,050	0,010	0,040	0,000	0,000	0,000
1943	0,000	0,020	0,310	0,750	0,270	0,000	0,000

**DADOS REFERENTES AOS  
RESERVATORIOS**

**Taxa de Evaporação (m/mês)**

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação	0,272	0,215	0,204	0,182	0,183	0,182	0,220	0,272	0,300	0,333	0,319	0,311

Figura 6.3 - Entrada/edição de dados do reservatório.

Os links são elos que ligam oferta hídrica à demanda hídrica, ou seja, são trechos de rios, canais, dutos etc.. Em sua entrada de dados, o modelo solicita a capacidade máxima de água e características do link como: coeficiente de perda, capacidade mínima e custos. Por último, tem-se a edição dados das demandas (valores, prioridades de atendimento e nós de retorno, quando existentes). Essas demandas são para perímetros irrigados, para abastecimentos domésticos e industriais, dentre outros.

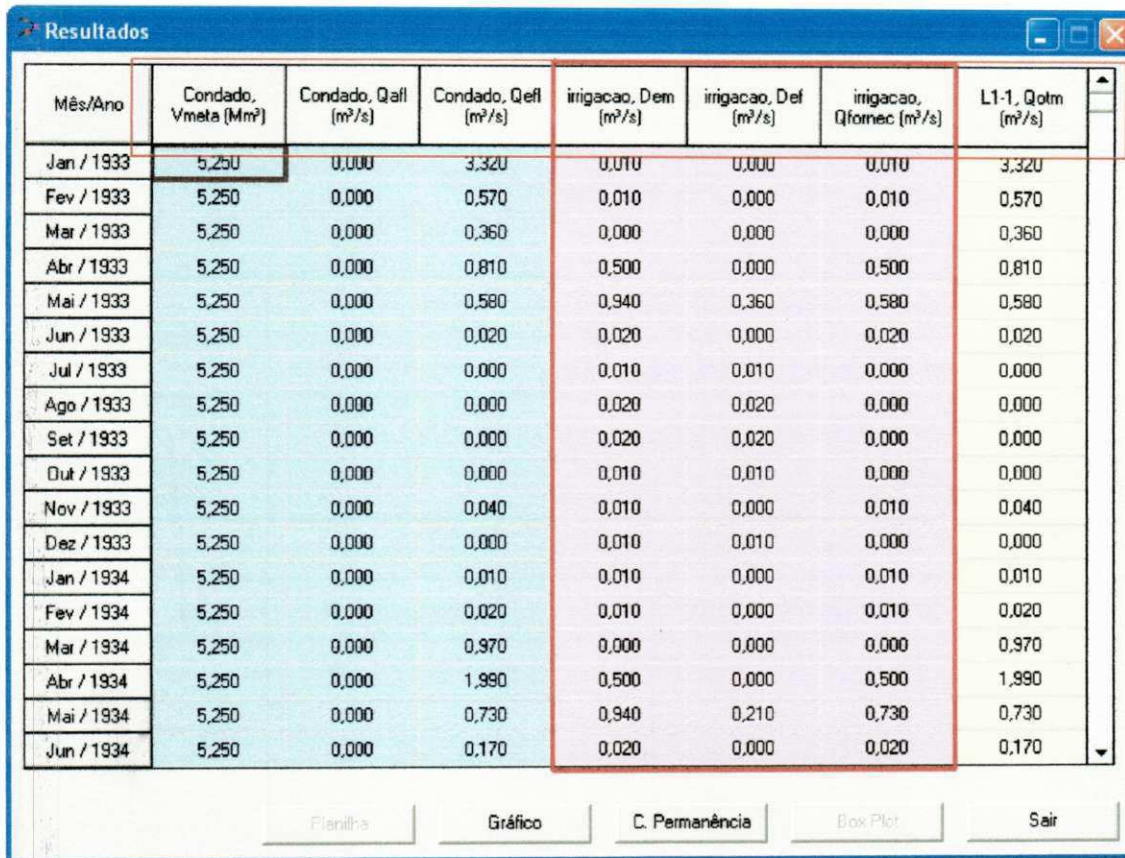
## 6.6 RESULTADOS

Os resultados são apresentados em forma de planilhas e ferramentas gráficas que permitem editar diversas propriedades do gráfico e efetuar “zoom” em qualquer parte do gráfico. Os resultados que o ACQUANET apresenta são:

- Volume final: o volume armazenado nos reservatórios em função da garantia fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Probabilidade do volume final: probabilidade do volume armazenado nos reservatórios ser maior ou igual a um valor de volume fornecido pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Falhas no mês: a probabilidade de ocorrerem falhas ao longo dos meses do horizonte de simulação (planejamento tático);
- Falhas consecutivas (2 ou mais meses): a probabilidade de ocorrerem falhas durante 2 ou mais meses consecutivos, ao longo dos meses do horizonte de simulação (planejamento tático);
- Déficits: os déficits no atendimento das demandas em função da probabilidade de ocorrência fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Vazões fornecidas (valores mensais): as vazões fornecidas às demandas em função da garantia fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Vazões fornecidas (valores médios anuais): as vazões médias anuais fornecidas às demandas em função da garantia fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Vazões ótimas: nos links em função da garantia (simulação contínua/planejamento tático);
- Valores obtidos: durante a realização dos cálculos (simulação contínua/planejamento tático).



A Figura 6.4 mostra um exemplo dos resultados que o ACQUANET pode fornecer, destacando-se as vazões demandadas e vazões fornecidas para irrigação e os déficits ocorridos eventualmente.



Mês/Ano	Condado, Vmeta (Mm <sup>2</sup> )	Condado, Qinf (m <sup>3</sup> /s)	Condado, Qeff (m <sup>3</sup> /s)	irrigacao, Dem (m <sup>3</sup> /s)	irrigacao, Def (m <sup>3</sup> /s)	irrigacao, Qfomec (m <sup>3</sup> /s)	L1-1, Qotm (m <sup>3</sup> /s)
Jan / 1933	5,250	0,000	3,320	0,010	0,000	0,010	3,320
Fev / 1933	5,250	0,000	0,570	0,010	0,000	0,010	0,570
Mar / 1933	5,250	0,000	0,360	0,000	0,000	0,000	0,360
Abr / 1933	5,250	0,000	0,810	0,500	0,000	0,500	0,810
Mai / 1933	5,250	0,000	0,580	0,940	0,360	0,580	0,580
Jun / 1933	5,250	0,000	0,020	0,020	0,000	0,020	0,020
Jul / 1933	5,250	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000
Ago / 1933	5,250	0,000	0,000	0,020	0,020	0,000	0,000
Set / 1933	5,250	0,000	0,000	0,020	0,020	0,000	0,000
Out / 1933	5,250	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000
Nov / 1933	5,250	0,000	0,040	0,010	0,000	0,010	0,040
Dez / 1933	5,250	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000
Jan / 1934	5,250	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010
Fev / 1934	5,250	0,000	0,020	0,010	0,000	0,010	0,020
Mar / 1934	5,250	0,000	0,970	0,000	0,000	0,000	0,970
Abr / 1934	5,250	0,000	1,990	0,500	0,000	0,500	1,990
Mai / 1934	5,250	0,000	0,730	0,940	0,210	0,730	0,730
Jun / 1934	5,250	0,000	0,170	0,020	0,000	0,020	0,170

Figura 6.4 – Tela de Planilha de Resultados do Modelo ACQUANET.

## CAPÍTULO VII

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 7.1. RESULTADOS DAS OTIMIZAÇÕES DO CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO;

Como já definido no Capítulo IV, o cenário Seco é aquele em que os dados hidrológicos dos modelos de otimização e simulação utilizados são aqueles referentes aos anos de menores volumes anuais escoados para cada reservatório.

Para esse cenário hidrológico, serão apresentados, a seguir, os resultados das otimizações para cada cenário agrícola considerado, para cada um dos reservatórios.

7.1.1. CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) – *Perene + Sazonais*

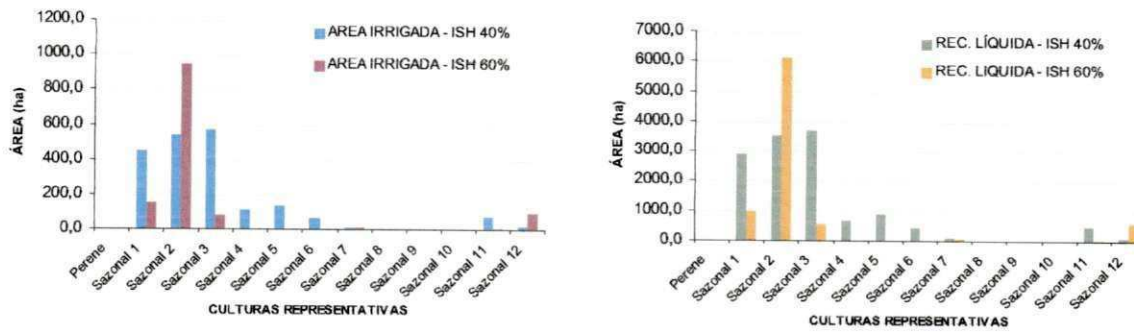
## 7.1.1.1 – Para o açude CONDADO

Com relação ao açude Condado, o modelo encontrou para este cenário agrícola, solução viável a partir de um valor do Indicador de Sustentabilidade Hídrica (ISH) de 60%. Para valores acima deste, o modelo não encontrou solução para o problema sem violar alguma das restrições do reservatório.

Segundo a Tabela 7.1, estão mostrados os valores das áreas irrigadas e respectivas receitas líquidas para cada cultura representativa, segundo os valores de ISH iguais 40 e 60 % respectivamente.

Tabela 7.1 - Áreas irrigadas e Receitas líquidas – Cenário (CA1)

Cultura	CONDADO			
	ISH - 40%		ISH - 60%	
	Área (ha)	RL (milR\$)	Área (ha)	RL (milR\$)
Perene	0,0	0,0	0,0	0,0
Sazonal 1	452,3	2918,5	154,0	993,8
Sazonal 2	549,9	3548,1	954,0	6155,2
Sazonal 3	571,9	3690,0	88,1	568,1
Sazonal 4	110,3	711,6	2,0	12,7
Sazonal 5	142,9	921,7	0,0	0,0
Sazonal 6	67,7	436,8	0,0	0,0
Sazonal 7	16,0	103,5	14,8	95,6
Sazonal 8	0,1	0,4	0,1	0,6
Sazonal 9	0,4	2,5	1,1	7,0
Sazonal 10	0,6	3,6	2,4	15,8
Sazonal 11	78,4	506,0	7,1	45,6
Sazonal 12	19,6	126,4	96,9	625,1
Total	2010,0	12969,0	1320,4	8519,5



**Figura 7.1 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas**

Segundo a Tabela 7.1, tanto para os resultados de ISH iguais a 40 e 60%, o modelo não alocou área para cultura perene, devido a mesma necessitar de água o ano todo, e por se tratar de um cenário hidrológico crítico, o modelo não conseguiu alocar área para essa cultura, liberando água somente para irrigar as culturas sazonais.

**Tabela 7.2 Plano Cultural Utilizado**

Cultura	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Perene												
Sazonal 1												
Sazonal 2												
Sazonal 3												
Sazonal 4												
Sazonal 5												
Sazonal 6												
Sazonal 7												
Sazonal 8												
Sazonal 9												
Sazonal 10												
Sazonal 11												
Sazonal 12												

Percebe-se ainda que na condição de ISH igual a 60%, o modelo libera água logo nos primeiros meses do período (ver Tabela 7.1 e 7.2) visando à redução das perdas evaporativas, devido às condições climáticas da região. A Figura 7.1 ilustra graficamente estes resultados.

Na Tabela 7.3, estão apresentados os resultados operacionais tanto para o reservatório de Condado quanto para a área irrigada por suas águas. O fato aparentemente sem lógica de maior liberação de água para irrigação no período chuvoso deve-se a que esta liberação de água está dada em  $\text{hm}^3$  e é devido à grande área irrigada neste período. Ou seja, o modelo sabiamente alocou maiores áreas irrigadas no período chuvoso quando só havia necessidade de irrigação suplementar.



Tabela 7.3 - Resultados operacionais do reservatório

CONDADO - ISH - 40%						
V <sub>max</sub> = 35,016 hm <sup>3</sup> , V <sub>min</sub> = 3,5016 hm <sup>3</sup> , V <sub>ini</sub> = 40%V <sub>max</sub>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	13,18	0,353	0,0	0,46	0,00	0,35
SET	12,61	0,38	0,0	0,18	0,00	0,14
OUT	12,16	0,413	0,0	0,04	0,00	0,03
NOV	11,66	0,386	0,0	0,12	0,01	0,09
DEZ	11,24	0,368	0,0	0,19	0,02	0,16
JAN	10,50	0,31	0,0	0,42	0,32	0,63
FEV	10,24	0,242	0,0	0,16	1,07	1,09
MAR	9,93	0,225	0,0	0,00	2,25	1,70
ABR	9,44	0,195	0,0	0,40	1,48	1,75
MAI	7,75	0,174	0,0	1,49	0,32	1,43
JUN	6,38	0,154	0,0	1,05	0,07	0,85
JUL	5,61	0,173	0,0	0,58	0,00	0,43
MEDIA	10,06	0,28	0,00	0,42	0,46	0,72

CONDADO - ISH - 60%						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	13,6	0,36	0,0	0,03	0,00	0,02
SET	13,2	0,39	0,0	0,04	0,00	0,03
OUT	12,7	0,42	0,0	0,04	0,00	0,03
NOV	12,3	0,40	0,0	0,02	0,00	0,02
DEZ	11,9	0,38	0,0	0,15	0,02	0,13
JAN	11,4	0,33	0,0	0,22	0,15	0,32
FEV	11,1	0,25	0,0	0,11	1,17	1,10
MAR	10,9	0,24	0,0	0,00	1,82	1,45
ABR	10,3	0,21	0,0	0,50	1,05	1,42
MAI	9,1	0,19	0,0	1,01	0,24	1,00
JUN	8,8	0,19	0,0	0,10	0,01	0,08
JUL	8,6	0,22	0,0	0,02	0,00	0,01
MEDIA	11,16	0,30	0,00	0,19	0,37	0,47

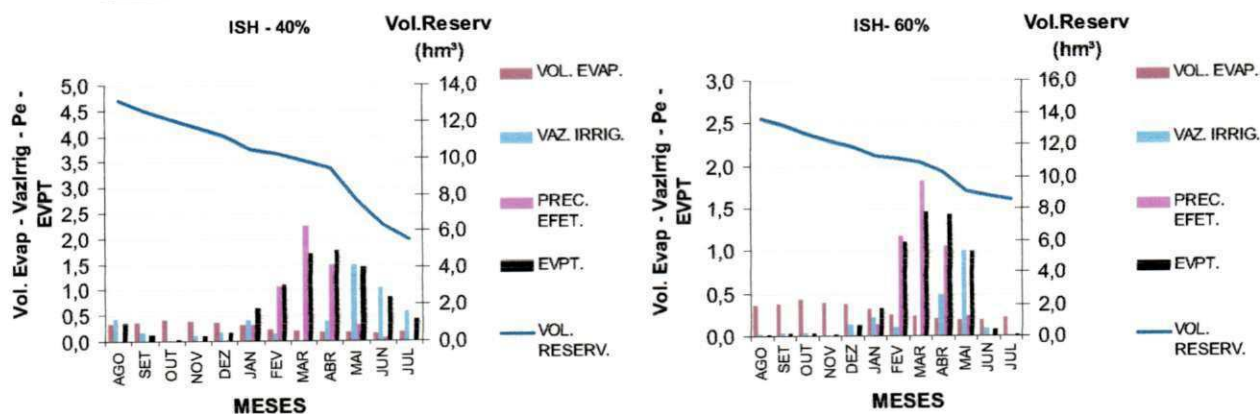


Figura 7.2 – Resultados operacionais para ISH iguais a 60% e 40%

## 7.1.1.2 – Para o açude SANTA INÊS

Para o açude de Santa Inês, o modelo só encontrou solução reduzindo o ISH para 40%.

Como mostrado na Tabela 7.4, pela mesma razão que ocorreu para o açude de Condado, o modelo de otimização também não alocou área para cultura perene devido ao fato desta possuir alta necessidade hídrica anual e devido às limitações hidrológicas do cenário considerado.

Da mesma forma, para não perder água do reservatório por evaporação, o modelo liberou água logo nos primeiros quatro meses do período, irrigando as culturas Sazonais 1, 2, 3, 4, 11 e 12 que são plantadas entre os meses de Janeiro e Abril, conforme o plano cultural apresentado na Tabela 7.2.

Tabela 7.4 - Áreas irrigadas e Receitas Líquidas - Cenário (CA1)

SANTA INES		
ISH - 40%		
Cultura	Area (ha)	RL (milR\$)
Perene	0	0
Sazonal 1	813,4	5248,2
Sazonal 2	32,69	210,89
Sazonal 3	36,97	238,55
Sazonal 4	116,95	754,56
Sazonal 5	30,25	195,2
Sazonal 6	28,94	186,75
Sazonal 7	5,14	33,14
Sazonal 8	8,55	55,16
Sazonal 9	4,01	25,89
Sazonal 10	7,85	50,65
Sazonal 11	43,35	279,73
Sazonal 12	110,56	713,38
Total	1238,7	7992,1

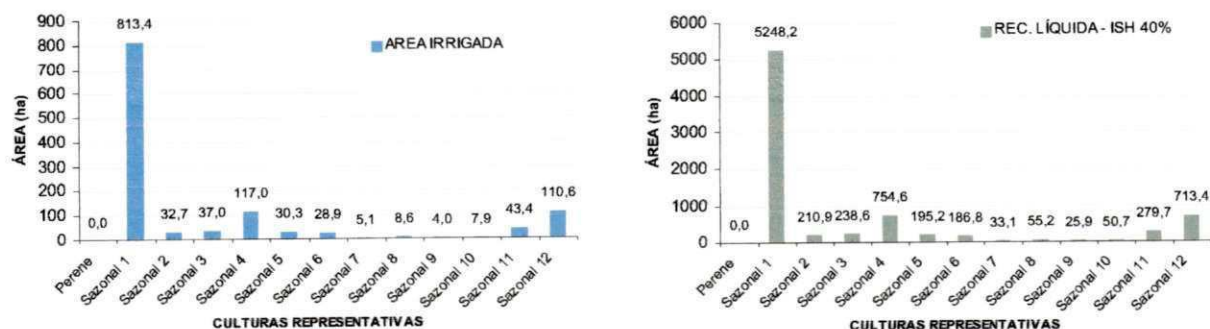


Figura 7.3 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas

Na Tabela 7.5, estão apresentados os resultados operacionais para esse reservatório. Pela Figura 7.4, nota-se o deplecionamento do nível do reservatório mês após mês já que houve a flexibilização do valor de ISH, chegando o reservatório no final do período com um volume de 3,13 hm<sup>3</sup>, valor esse exatamente igual a 40% do volume do reservatório no início do período.

A perda evaporativa anual média ficou em torno de 0,20 hm<sup>3</sup>. Nota-se, também, segundo a Tabela 7.5, que os meses com menores vazões para irrigação no reservatório são aqueles em que a precipitação efetiva é maior, o que já era esperado, devido ao fato de que, nestes meses, o modelo só tira a água necessária para complementar a necessidade hídrica das culturas sendo parte desta suprida pela precipitação efetiva na área irrigada.

Tabela 7.5 - Resultados operacionais do reservatório

SANTA INÊS - ISH - 40%						
Vmax = 26,11 hm <sup>3</sup> ; Vmin = 2,611 hm <sup>3</sup> , Vini = 30%Vmax						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	7,42	0,261	0,0	0,15	0,00	0,11
SET	7,03	0,278	0,0	0,10	0,00	0,07
OUT	6,67	0,3	0,0	0,06	0,00	0,05
NOV	6,28	0,278	0,0	0,11	0,00	0,09
DEZ	5,87	0,26	0,0	0,26	0,03	0,22
JAN	4,95	0,207	0,0	0,69	0,56	1,08
FEV	4,58	0,156	0,0	0,32	0,97	1,20
MAR	4,43	0,145	0,0	0,00	1,40	1,32
ABR	4,31	0,128	0,0	0,07	0,88	0,91
MAI	3,97	0,122	0,0	0,22	0,05	0,22
JUN	3,56	0,115	0,0	0,28	0,02	0,23
JUL	3,13	0,129	0,0	0,29	0,00	0,21
MEDIA	5,18	0,20	0,00	0,21	0,33	0,47

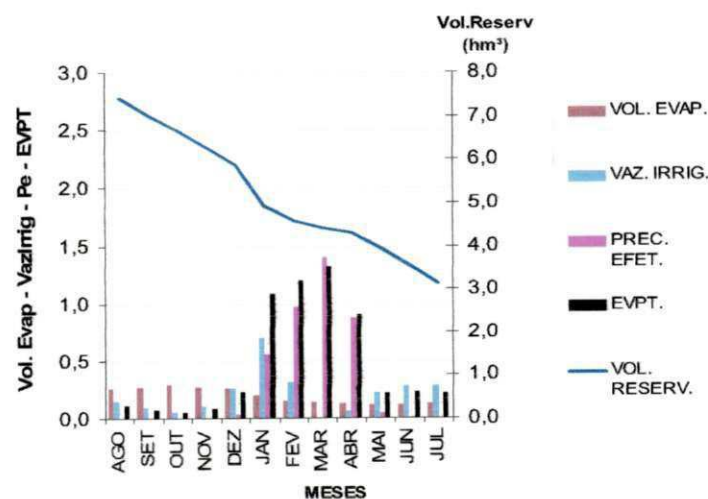


Figura 7.4 – Resultados operacionais – ISH igual a 40%



7.1.1.3 – Para o açude SERRA VERMELHA I

Com relação a esse reservatório, assim como o que ocorreu com o de Santa Inês, o modelo de otimização encontrou solução viável apenas quando se reduziu o ISH para 40%.

Portanto, como era de se esperar para o cenário hidrológico considerado, assim como na análise do açude Santa Inês, o modelo também não alocou área para a cultura perene e libera água logo no início do ano, entre os meses de janeiro a abril, para irrigar as culturas sazonais. Praticamente, só a cultura sazonal 1 é plantada, justamente para evitar altas perdas por evaporação ao invés de “segurar” água no açude para ser usada em meses posteriores.

Tabela 7.6 - Áreas irrigadas e Receitas Líquidas - Cenário (CA1)

SERRA VERMELHA I				
Cultura	ISH - 40%			
	Área (ha)		RL (milR\$)	
Perene	0	0	0	0
Sazonal 1	532,75	532,75	3437,39	3437,39
Sazonal 2	0,89	0,89	5,76	5,76
Sazonal 3	0	0	0	0
Sazonal 4	0	0	0,01	0,01
Sazonal 5	0	0	0	0
Sazonal 6	0	0	0	0
Sazonal 7	0	0	0	0
Sazonal 8	0	0	0	0
Sazonal 9	0	0	0	0
Sazonal 10	0	0	0	0
Sazonal 11	0	0	0	0
Sazonal 12	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1067,3</b>		<b>6886,3</b>	

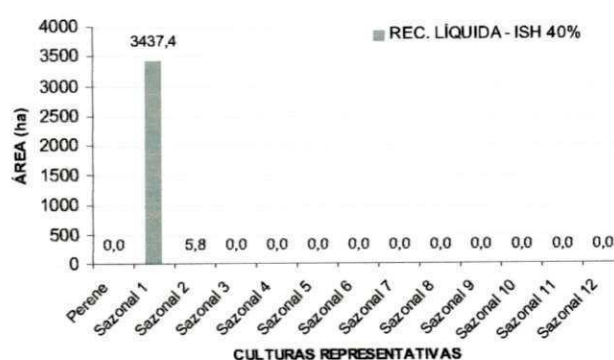
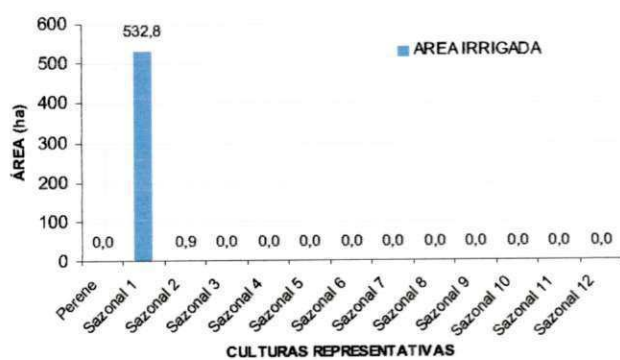


Figura 7.5 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas

De acordo com a Tabela 7.7, o reservatório chega no final do período com um volume de 1,89 hm<sup>3</sup>, equivalente a exatamente 40% do volume inicial do reservatório, o que já era esperado devido ao valor de ISH igual a 40%.

A Figura 7.6 ilustra o comportamento do reservatório até o final do período.

Tabela 7.7 - Resultados operacionais do reservatório

SERRA VERMELHA I - ISH - 40%						
V <sub>max</sub> = 11,80 hm <sup>3</sup> ; V <sub>min</sub> = 1,180 hm <sup>3</sup> , V <sub>ini</sub> = 40%V <sub>max</sub>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	4,46	0,18	0,0	0	0	0
SET	4,20	0,19	0,0	0	0	0
OUT	3,92	0,20	0,0	0	0	0
NOV	3,66	0,18	0,0	0	0	0
DEZ	3,47	0,17	0,0	0	0	0
JAN	2,94	0,14	0,0	0,31	0,306	0,538
FEV	2,66	0,10	0,0	0,1549	0,516	0,632
MAR	2,49	0,09	0,0	0,0008	0,752	0,745
ABR	2,36	0,08	0,0	0,0325	0,468	0,492
MAI	2,20	0,08	0,0	0	0,0002	0,0008
JUN	2,05	0,07	0,0	0	0	0
JUL	1,89	0,08	0,0	0	0	0
MEDIA	3,02	0,13	0,00	0,04	0,17	0,20

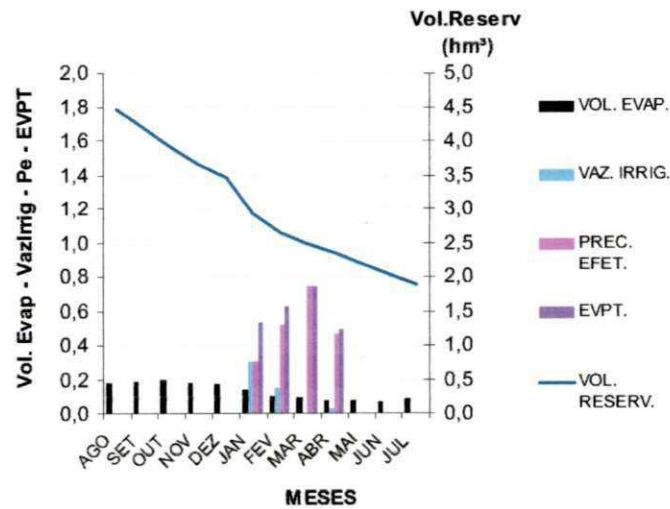


Figura 7.6 – Resultados Operacionais – ISH igual a 40%



## 7.1.1.4 – Para o açude PIRANHAS

De acordo com os resultados da Tabela 7.8, obtidos para o açude Piranhas, neste cenário hidrológico e agrícola, o modelo encontrou solução para valores de ISH iguais a 40%, 60% e 80% respectivamente.

Os resultados referentes à ISH igual a 80% demonstraram que este reservatório é menos vulnerável às condições críticas de seca do que os outros reservatórios até então estudados.

Como era de se esperar, para ISH igual a 40%, o modelo aloca maior área total por cultura, em torno de 1800 ha e conseqüentemente maior receita líquida.

No entanto, para ISH igual a 60%, que é um valor mais favorável à sustentabilidade em relação ao ISH de 40%, o modelo distribui bem a água disponível entre as culturas, irrigando praticamente todas elas, inclusive a cultura perene, evidentemente dando preferência as sazonais 1, 2 e 12, obtendo com isso uma área total por cultura maior que 1500 ha.

Tabela 7.8 - Áreas irrigadas e Receitas Líquidas - Cenário (CA1)

Cultura	PIRANHAS					
	ISH - 40%		ISH - 60%		ISH - 80%	
	Área (ha)	RL (milRS)	Área (ha)	RL (milRS)	Área (ha)	RL (milRS)
Perene	0,0	0,0	30,4	203,8	0	0
Sazonal 1	288,7	1862,8	384,5	2480,7	323,9	2089,6
Sazonal 2	336,6	2172,0	645,9	4167,2	0	0
Sazonal 3	229,3	1479,5	15,9	102,7	0	0
Sazonal 4	167,8	1082,4	0,2	1,5	0	0
Sazonal 5	147,9	954,4	113,9	734,6	0	0
Sazonal 6	126,7	817,4	77,5	500,3	0	0
Sazonal 7	46,9	302,7	9,1	58,5	0	0
Sazonal 8	0,0	0,0	3,9	25,0	0	0
Sazonal 9	29,3	189,2	0,1	0,5	0	0
Sazonal 10	104,1	671,8	19,5	126,0	0	0
Sazonal 11	167,8	1082,7	5,3	34,0	0	0
Sazonal 12	221,3	1428,1	258,1	1665,5	0	0
<b>Total</b>	<b>1866,4</b>	<b>12042,7</b>	<b>1564,2</b>	<b>10100,2</b>	<b>323,9</b>	<b>2089,6</b>

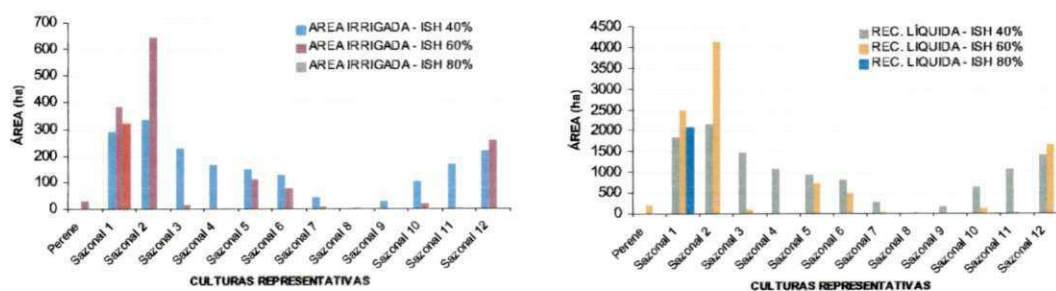


Figura 7.7 – Áreas irrigadas e Receitas Líquidas

Para o Indicador de Sustentabilidade Hídrica igual a 80%, o açude se comporta de maneira análoga aos açudes Condado, Santa Inês e Serra Vermelha I quando as condições de sustentabilidade eram mais desfavoráveis (ISH iguais a 40 e 60%). Como ocorreu naqueles, o modelo não aloca área para cultura perene e usa a água disponível logo no início do ano para irrigar as primeiras culturas sazonais, que no caso foi só a Sazonal 1, plantada entre os meses de Janeiro e Abril, conforme a Tabela 7.2.

Com referência aos resultados operacionais do reservatório, segundo a Tabela 7.9, nota-se que as menores perdas evaporativas ocorrem na condição de ISH igual a 40%, o que já era esperado, já que o modelo não opta em “segurar” a água do reservatório disponível, sendo esta logo usada para irrigação das culturas.

Na condição de ISH igual a 80%, vê-se que o reservatório atinge o valor de 17,8 hm<sup>3</sup> no final do período, o que equivale a aproximadamente a 86% do volume no início do processo, que foi de 20,5 hm<sup>3</sup>.

Tabela 7.9 - Resultados operacionais do reservatório

PIRANHAS- ISH - 40%						
Vmax = 25,69 hm <sup>3</sup> ; Vmin = 2,569 hm <sup>3</sup> , Vini = 80%Vmax						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	19,04	0,42	0,0	1,07	0	0,80
SET	17,91	0,44	0,0	0,67	0	0,50
OUT	16,88	0,48	0,0	0,55	0	0,41
NOV	15,48	0,44	0,0	0,93	0	0,70
DEZ	13,60	0,39	0,0	1,52	0,13	1,26
JAN	11,84	0,32	0,0	1,42	0,62	1,69
FEV	11,12	0,25	0,0	0,52	1,41	1,75
MAR	11,37	0,24	0,0	0,19	1,86	1,85
ABR	11,80	0,21	0,0	0,20	1,56	1,61
MAI	11,11	0,21	0,0	1,31	0,38	1,36
JUN	9,69	0,19	0,0	1,19	0,13	1,02
JUL	8,22	0,21	0,0	1,22	0,03	0,94
MEDIA	13,17	0,32	0,00	0,90	0,51	1,16

PIRANHAS - ISH - 60%						
Vmax = 25,69 hm <sup>3</sup> ; Vmin = 2,569 hm <sup>3</sup> , Vini = 80%Vmax						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	19,4	0,42	0,0	0,74	0,00	0,56
SET	18,5	0,45	0,0	0,38	0,00	0,29
OUT	17,8	0,49	0,0	0,19	0,00	0,15

Continuação da Tabela 7.9

NOV	17,2	0,46	0,0	0,18	0,00	0,14
DEZ	16,1	0,43	0,0	0,71	0,08	0,61
JAN	14,7	0,36	0,0	1,03	0,56	1,33
FEV	13,9	0,28	0,0	0,56	1,84	2,17
MAR	14,0	0,26	0,0	0,26	2,30	2,45
ABR	14,3	0,24	0,0	0,37	1,65	1,88
MAI	13,9	0,24	0,0	1,04	0,35	1,13
JUN	13,2	0,23	0,0	0,37	0,05	0,32
JUL	12,3	0,26	0,0	0,61	0,01	0,47
<b>MEDIA</b>	<b>15,44</b>	<b>0,34</b>	<b>0,00</b>	<b>0,54</b>	<b>0,57</b>	<b>0,96</b>

PIRANHAS - ISH - 80%

$V_{max} = 25,69 \text{ hm}^3$  ;  $V_{min} = 2,569 \text{ hm}^3$ ,  $V_{ini} = 80\%V_{max}$

MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	20,1	0,43	0,0	0,00	0,00	0,00
SET	19,6	0,47	0,0	0,00	0,00	0,00
OUT	19,1	0,51	0,0	0,00	0,00	0,00
NOV	18,6	0,48	0,0	0,00	0,00	0,00
DEZ	18,2	0,46	0,0	0,00	0,00	0,00
JAN	17,5	0,40	0,0	0,34	0,26	0,51
FEV	17,0	0,31	0,0	0,20	0,45	0,60
MAR	17,3	0,30	0,0	0,20	0,56	0,71
ABR	17,9	0,27	0,0	0,00	0,50	0,47
MAI	18,4	0,27	0,0	0,00	0,00	0,00
JUN	18,2	0,27	0,0	0,00	0,00	0,00
JUL	17,8	0,32	0,0	0,00	0,00	0,00
<b>MEDIA</b>	<b>18,32</b>	<b>0,37</b>	<b>0,00</b>	<b>0,06</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>

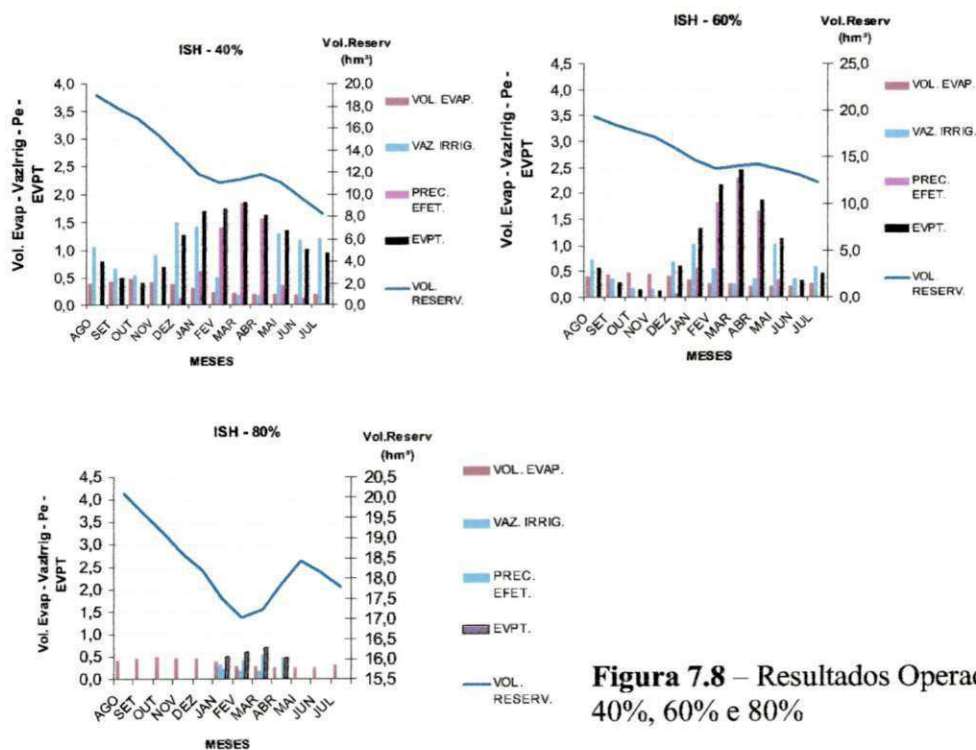


Figura 7.8 – Resultados Operacionais – ISH de 40%, 60% e 80%

## 7.1.1.5 – Para o açude VIDÉO

O Açude Vídeo é o menor dentre os estudados. O modelo também só consegue alocar área para as culturas a partir do ISH igual a 40%, pela mesma razão dos outros reservatórios estudados.

Segundo a Tabela 7.10, o modelo de otimização encontra uma área total por cultura de 361 ha, irrigando somente as culturas sazonais 1, 2, 3, 6 e 7 praticamente, gerando com isso uma receita líquida de R\$ 2.330 mil.

O reservatório começou o processo com um volume inicial de 60% do volume máximo e terminou o processo com um volume de 1,45 hm<sup>3</sup>, equivalente à 40% do seu volume inicial, obedecendo assim a condição imposta pelo ISH de 40%. Os resultados numéricos são apresentados nas Tabelas 7.10 a 7.11 e nas Figuras 7.9 a 7.10.

Tabela 7.10 - Áreas irrigadas e Receitas - Cenário (CA1)

Cultura	VIDEO	
	ISH - 40%	
	Área (ha)	RL (milR\$)
Perene	0,0	0,0
Sazonal 1	33,9	218,8
Sazonal 2	230,1	1484,8
Sazonal 3	32,6	210,1
Sazonal 4	0,0	0,0
Sazonal 5	0,5	3,4
Sazonal 6	43,9	283,0
Sazonal 7	18,7	120,8
Sazonal 8	1,4	9,0
Sazonal 9	0,0	0,0
Sazonal 10	0,0	0,0
Sazonal 11	0,1	0,7
Sazonal 12	0,0	0,0
Total	361,2	2330,6

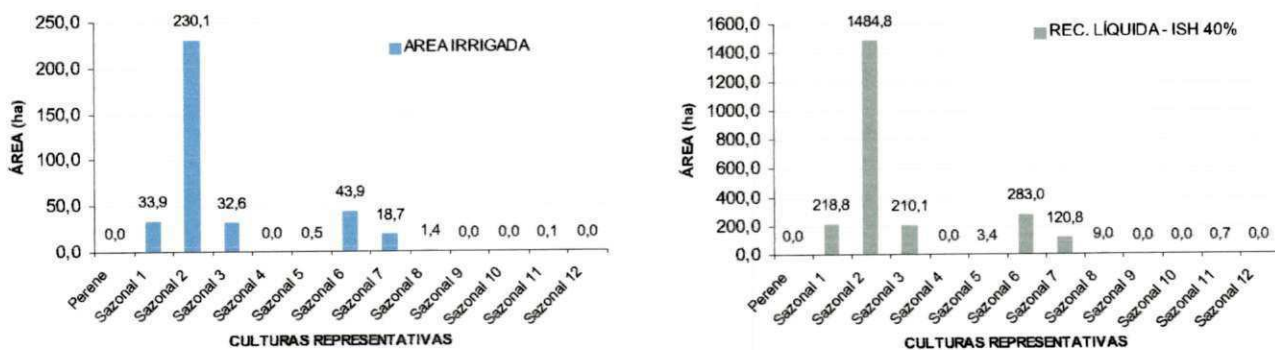


Figura 7.9 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas



Tabela 7.11 - Resultados operacionais do reservatório

VIDEO – ISH 40%						
Vmax = 6,04 hm <sup>3</sup> ; Vmin = 0,604 hm <sup>3</sup> , Vini = 60%Vmax						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	3,30	0,16	0,00	0,15	0,00	0,11
SET	2,98	0,17	0,00	0,14	0,00	0,11
OUT	2,75	0,18	0,00	0,05	0,00	0,03
NOV	2,57	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
DEZ	2,43	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
JAN	2,27	0,13	0,00	0,02	0,02	0,03
FEV	2,19	0,10	0,00	0,02	0,22	0,22
MAR	2,11	0,09	0,00	0,00	0,42	0,33
ABR	2,03	0,08	0,00	0,01	0,36	0,35
MAI	1,75	0,07	0,00	0,21	0,09	0,25
JUN	1,62	0,07	0,00	0,06	0,01	0,06
JUL	1,45	0,08	0,00	0,09	0,00	0,07
MEDIA	2,29	0,12	0,00	0,06	0,09	0,13

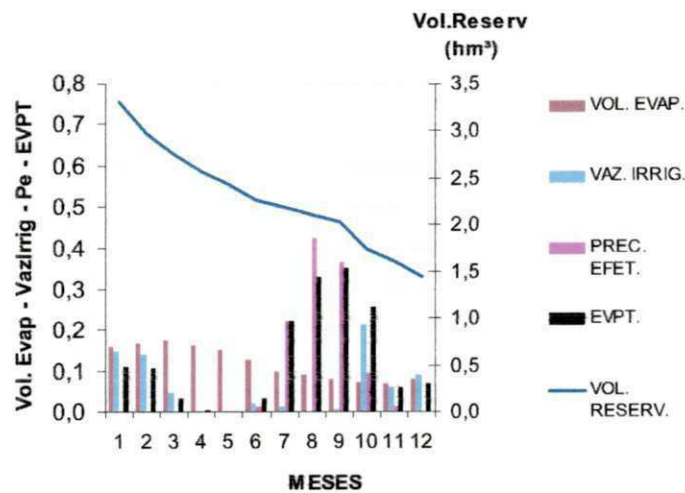


Figura 7.10 – Resultados operacionais – ISH igual a 40%

## 7.1.1.6 – Para o açude VAZANTE

Localizado na mesma bacia hidrográfica e sujeito às mesmas condições climáticas, o açude Vazante se comporta da mesma forma da maioria dos anteriores.

Como já demonstrado para os outros reservatórios, o modelo encontra também para o açude Vazante solução somente a partir do ISH igual a 40%, em razão das limitações

hidrológicas do cenário Seco, sem que o mesmo viole alguma das restrições impostas por este reservatório.

Recapitulando o que já foi analisado nos outros açudes, o modelo de otimização repete para este a mesma política, ou seja, utilizando a água disponível logo no início do período, irrigando as primeiras culturas do plano cultural utilizado, que neste caso, são plantadas as compreendidas entre os meses de Janeiro e Maio.

A área total alocada por cultura foi quase 1320 ha, gerando uma receita líquida de mais de R\$ 8500 mil. A perda evaporativa anual média foi de 0,14 hm<sup>3</sup>.

Tabela 7.12- Áreas irrigadas e Receitas - Cenário (CA1)

Cultura	VAZANTE	
	ISH - 40%	
	Area (ha)	RL (milR\$)
Perene	0,1	0,7
Sazonal 1	589,9	3806,1
Sazonal 2	438,4	2828,4
Sazonal 3	146,0	942,0
Sazonal 4	50,2	323,8
Sazonal 5	57,2	369,1
Sazonal 6	4,1	26,4
Sazonal 7	11,9	77,1
Sazonal 8	7,2	46,4
Sazonal 9	12,4	80,1
Sazonal 10	0,7	4,3
Sazonal 11	0,2	1,1
Sazonal 12	0,8	5,0
<b>Total</b>	<b>1319,0</b>	<b>8510,3</b>

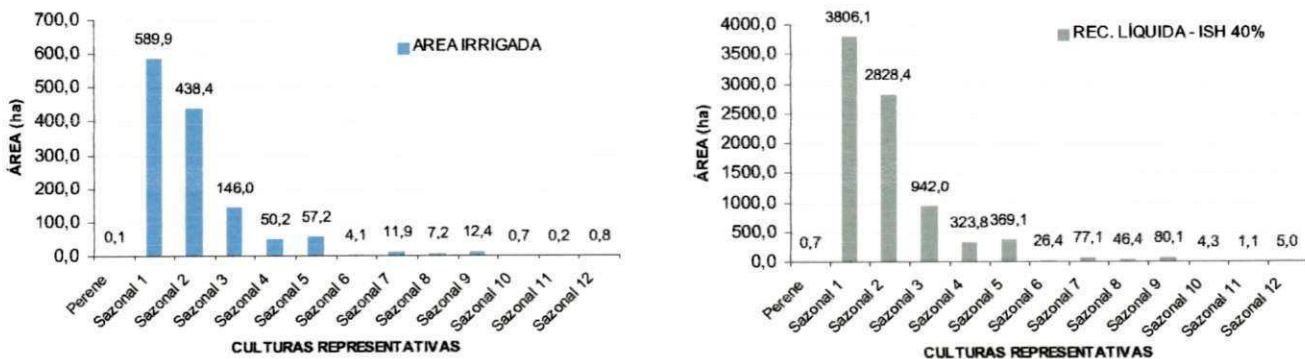


Figura 7.11 – Áreas irrigadas e Receitas Líquidas

O reservatório termina o período com o volume de 2,55 hm<sup>3</sup>, que é exatamente igual a 40% do volume no início do período, atendendo portanto o valor de ISH de 40%. Esses resultados encontram-se nas Tabelas 7.12 e 7.13 e nas Figuras 7.11 e 7.12.

Tabela 7.13 - Resultados operacionais do reservatório

VAZANTE						
V <sub>max</sub> = 9,09 hm <sup>3</sup> ; V <sub>min</sub> = 0,909 hm <sup>3</sup> , V <sub>ini</sub> = 70%V <sub>max</sub>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	6,02	0,19	0,0	0,15	0,0	0,11
SET	5,73	0,20	0,0	0,08	0,0	0,06
OUT	5,33	0,21	0,0	0,08	0,0	0,06
NOV	5,08	0,19	0,0	0,05	0,0	0,04
DEZ	4,88	0,18	0,0	0,03	0,0	0,02
JAN	4,31	0,15	0,0	0,41	0,29	0,60
FEV	3,99	0,11	0,0	0,27	0,87	1,05
MAR	3,90	0,10	0,0	0,00	1,68	1,43
ABR	3,80	0,09	0,0	0,01	1,51	1,27
MAI	3,19	0,08	0,0	0,58	0,25	0,68
JUN	2,83	0,07	0,0	0,29	0,04	0,26
JUL	2,55	0,08	0,0	0,21	0,00	0,16
MEDIA	4,30	0,14	0,0	0,18	0,39	0,48

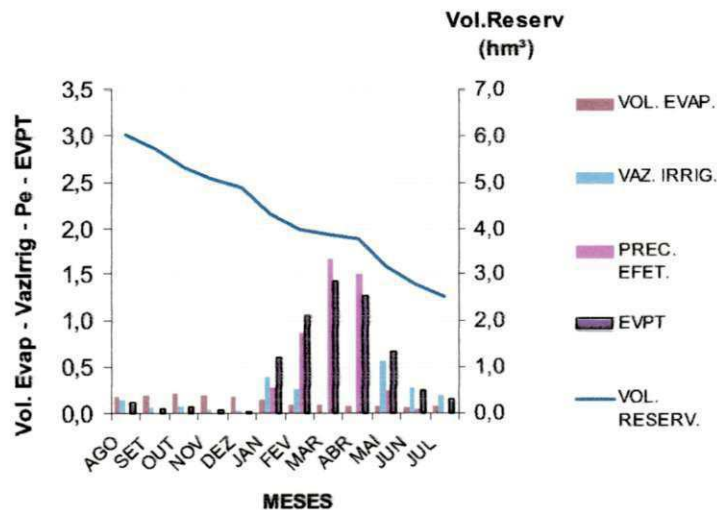


Figura 7.12 – Resultados operacionais – ISH igual a 40%

### 7.1.2. CENÁRIO AGRÍCOLA (CA2) – Só culturas Perenes

A fim de se verificar o potencial que cada reservatório tem em irrigar apenas culturas perenes no cenário Seco, aplicou-se o modelo de otimização com esse novo cenário agrícola (CA2) e com isso foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 7.14.

Tabela 7.14 - Área obtida no Cenário Seco - Irrigando só cultura perene

Condado		Santa Inês		Serra Vermelha I	
ISH		ISH		ISH	
40%	75%	40%	60%	40%	
Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	
750	87	221	73	43	
Piranhas		Vidéo		Vazante	
ISH		ISH		ISH	
40%	80%	90%	40%	40%	70%
Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
509	94	3	54	214	19

Com isso, sabendo-se quanto cada reservatório pode alocar para culturas perenes no cenário hidrológico Seco e escolhendo de forma apropriada a política de operação no que diz respeito ao indicador de sustentabilidade hídrica, esses resultados foram inseridos em um novo cenário agrícola para o cenário hidrológico que se utiliza de valores médios que será analisado posteriormente (Cenário médio). Este cenário agrícola fixa as áreas obtidas para as culturas perenes obtidas no cenário seco e com a água restante disponível, o modelo de otimização encontra as áreas ótimas a serem alocadas para as culturas sazonais. A razão desta proposta é que tecnicamente, é uma forma de garantir que as culturas perenes não sofram déficit hídrico quando da ocorrência de anos críticos de seca, que em regiões semi-áridas são bastante frequentes.

## 7.2. RESULTADOS DAS OTIMIZAÇÕES DO CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE MÊS INICIAL;

O cenário médio é aquele no qual os dados hidrológicos dos modelos de otimização e simulações aplicados são as médias mensais das séries pluviométricas e fluviométricas utilizadas no estudo.

Para esse cenário, aplicou-se o modelo de otimização considerando diferentes condições de mês inicial, variando de Janeiro a Dezembro, para cada cenário agrícola e para cada reservatório. Os resultados são mostrados nas próximas seções.



### 7.2.1. CENÁRIO AGRÍCOLA (CA1) – *Perene + Sazonais*

#### 7.2.1.1 – Para o açude CONDADO

Para este reservatório estão mostrados na Tabela 7.15, os resultados das otimizações para o cenário agrícola considerado para cada condição de mês inicial. Verifica-se que o modelo não encontrou solução viável quando se iniciou o processo nos meses de março e novembro.

Verificando ainda a Tabela 7.15 fica evidente a influência nos resultados das otimizações, quando se muda apenas o mês inicial.

Para o açude Condado, neste cenário agrícola, os melhores resultados em termos de área irrigada e receita líquida se deram quando se começou o processo no mês de setembro, obtendo com isso uma área irrigada total por cultura de mais de 3000 ha e uma receita líquida em torno de R\$ 20300 mil.

Segundo a Tabela 7.16, os resultados operacionais para a melhor condição de mês inicial, no caso setembro, estão apresentados. Pode-se perceber que o reservatório termina o período com o volume de 16,68 hm<sup>3</sup>, que é exatamente igual ao volume no início do processo, ou seja, o reservatório atendeu a condição de sustentabilidade hídrica imposta (ISH=100%).

O volume evaporado anual médio foi de 0,34 hm<sup>3</sup>. Ainda, pode-se verificar que as maiores vazões retiradas do reservatório para irrigação das culturas, nos meses de setembro a janeiro, coincidem com os meses de menores valores das precipitações efetivas na área irrigada, ou seja, nesses meses, como a precipitação efetiva não foi suficiente para atender a demanda hídrica das culturas, retirou-se do reservatório o volume de água que faltava pra suprir o déficit hídrico das culturas.

Ainda, pela Tabela 7.16, verifica-se que a partir do mês de fevereiro até o fim do processo, o reservatório começa a armazenar água, visando a chegar ao fim do período com um volume maior ou igual ao volume inicial a fim de atender a condição de sustentabilidade hídrica.

Tabela 7.15 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) -

CONDADO												
CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL												
cultura	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	5,47	36,6	8,62	57,7	-	-	5,04	33,75	5,14	34,5	5	33,48
Sazonal 1	181,31	1169,8	189	1219,5	-	-	232,05	1497,21	637,04	4110,3	167,32	1079,58
Sazonal 2	191,73	1237,1	199,98	1290,3	-	-	199	1284,02	446,94	9335,9	150,73	972,56
Sazonal 3	167,75	1082,4	180,23	1162,9	-	-	148,03	955,15	188,19	1214,2	113,99	735,46
Sazonal 4	136,38	879,9	140,78	908,4	-	-	93,01	600,14	5,17	33,3	121,15	781,68
Sazonal 5	89,19	575,5	114,97	741,8	-	-	71,21	459,46	5,02	32,4	93,48	603,16
Sazonal 6	90,93	586,7	82,59	532,9	-	-	51,06	329,43	27,82	179,5	74,68	481,87
Sazonal 7	44,52	287,3	66,66	430,1	-	-	59,86	386,24	25,3	163,2	61,9	399,42
Sazonal 8	64,68	417,4	44,22	285,3	-	-	5,14	33,17	20,57	132,7	63,37	408,89
Sazonal 9	50,1	323,3	27,82	179,5	-	-	33,1	213,59	63,15	407,4	69,02	445,35
Sazonal 10	59,73	385,4	48,83	315,1	-	-	76,48	493,48	56,16	362,4	67,71	436,87
Sazonal 11	108,21	698,2	88,84	573,2	-	-	132,95	857,85	38,71	249,8	95	612,95
Sazonal 12	151,23	975,8	139,24	898,4	-	-	152,55	984,26	76,4	492,9	135,62	875,03
<b>Total</b>	<b>1341</b>	<b>8655</b>	<b>1332</b>	<b>8595</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1259</b>	<b>8128</b>	<b>1596</b>	<b>16749</b>	<b>1219</b>	<b>7866</b>

cultura	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	5,06	34	5	33,5	31,44	210,6	5	33,5	-	-	5	33,5
Sazonal 1	327,16	2111	897,56	12243,5	2478,68	15993,0	374,28	2415,0	-	-	168,04	7536,4
Sazonal 2	329,4	2125	5	32,3	57,7	372,3	377,05	2432,8	-	-	166,57	7526,9
Sazonal 3	268,44	1732	5,08	32,8	20,45	132,0	368,9	2380,2	-	-	5,78	37,3
Sazonal 4	143,06	923	5	32,3	18,11	116,9	361,83	2334,6	-	-	5,01	32,3
Sazonal 5	93,76	605	193,41	1247,9	17,7	114,2	57,02	367,9	-	-	5,69	36,7
Sazonal 6	39,98	258	5	32,3	18,74	120,9	45,08	290,9	-	-	5,04	32,5
Sazonal 7	6	39	132,83	857,1	17,12	110,5	28,69	185,1	-	-	5,46	35,2
Sazonal 8	22,63	146	5	32,3	19,27	124,3	5	32,3	-	-	5	32,3
Sazonal 9	5,95	38	18,28	118,0	19,29	124,4	5	32,3	-	-	5,01	32,4
Sazonal 10	81,73	527	9,62	62,1	17,2	111,0	10,79	69,6	-	-	5,14	33,1
Sazonal 11	134,18	866	271,28	1750,3	308,28	1989,1	21,12	136,3	-	-	478,7	3088,7
Sazonal 12	211,37	1364	5,09	32,8	123,9	799,5	364,18	2349,8	-	-	5,08	32,8
<b>Total</b>	<b>1669</b>	<b>10768</b>	<b>1558</b>	<b>16507</b>	<b>3148</b>	<b>20318</b>	<b>2024</b>	<b>13060</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>866</b>	<b>18490</b>

Condição de melhor Receita líquida Total

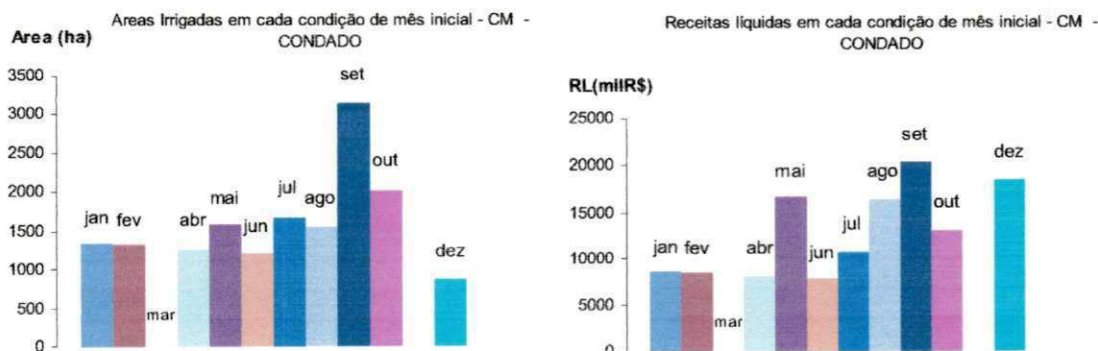


Figura 7.13 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas

Tabela 7.16 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - SETEMBRO						
Vini = 16,68 hm³, Vmax = 35,01 hm³, Vmin = 3,51 hm³						
MÊS	P/ RESERVATORIO -			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm³)	VOL. EVAP. (hm³)	VOL. VERT. (hm³)	VAZ. IRRIG. (hm³)	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)
SET	16,04	0,436	0,0	0,21	0,00	0,16
OUT	15,34	0,472	0,0	0,23	0,00	0,18
NOV	14,31	0,435	0,0	0,65	0,03	0,51
DEZ	13,10	0,402	0,0	0,92	0,09	0,78
JAN	10,87	0,316	0,0	2,18	1,70	3,33
FEV	10,68	0,248	0,0	0,85	2,91	3,53
MAR	12,74	0,26	0,0	0,00	3,83	3,70
ABR	15,74	0,263	0,0	0,18	2,29	2,42
MAI	17,39	0,279	0,0	0,13	0,03	0,14
JUN	17,62	0,28	0,0	0,12	0,01	0,10
JUL	17,26	0,334	0,0	0,15	0,00	0,11
AGO	16,68	0,405	0,0	0,19	0,00	0,14
<b>MÉDIA</b>	<b>14,8</b>	<b>0,34</b>	<b>0,00</b>	<b>0,48</b>	<b>0,91</b>	<b>1,26</b>

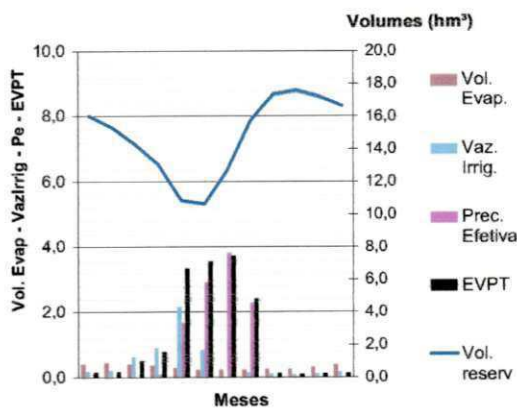


Figura 7.14 – Resultados operacionais – Mês inicial - JULHO

## 7.2.1.2 – Para o açude SANTA INÊS

Com relação ao açude Santa Inês, o modelo encontrou, para este cenário agrícola, melhores resultados na condição de mês inicial sendo o mês de agosto, obtendo uma área total por culturas de 1449 ha com receita líquida de R\$ 9.347 mil.

Assim como no cenário hidrológico Seco, o modelo não dá preferência para cultura perene em nenhuma condição de mês inicial, levando a crer que não é muito vantajoso plantar tal cultura nas condições atuais do reservatório.

Segundo a Tabela 7.17, o modelo aloca área preferencialmente para as culturas sazonais 1, 2, 3, 4 e 12, que são plantadas nos períodos de Janeiro a Maio, segundo o plano cultural da Tabela 7.2. Verificando os resultados operacionais na Tabela 7.18, percebe-se claramente como o reservatório usa bem a água nele disponível. Ele começa o período com um volume de um pouco acima dos 9,3hm<sup>3</sup>, chega a 5,98 hm<sup>3</sup> no final do mês de Janeiro e a partir daí começa a armazenar água para satisfazer a condição de sustentabilidade hídrica, que é atendida, pois o mesmo termina o processo com volume igual a 10,14 hm<sup>3</sup>, exatamente igual ao volume inicial no mês de Agosto.

Tabela 7.17 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - SANTA INÊS

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	7,61	50,95	0,5	3,35	0,5	3,35	0,5	3,35	0,5	3,35	0,71	4,73
Sazonal 1	216,92	1399,61	324,98	2096,86	252,37	1628,37	559,26	3608,47	149,82	966,66	75,52	487,28
Sazonal 2	245,51	1584,09	268,17	1730,29	237,09	1529,77	121,82	786,03	116,57	752,16	109,83	708,63
Sazonal 3	208,5	1345,28	250,29	1614,93	207,04	1335,85	0,5	3,23	205,08	1323,21	715,87	4618,96
Sazonal 4	110,5	713	149,07	961,85	137,55	887,49	166,28	1072,85	4,13	26,64	17,81	114,9
Sazonal 5	13,48	86,96	79,88	515,4	29,68	191,5	271,75	1753,39	110,55	713,3	67,53	435,69
Sazonal 6	0,5	3,23	14,87	95,97	72,4	467,13	0,5	3,23	15	96,8	161,7	1043,31
Sazonal 7	33,03	213,14	23,93	154,38	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23	7,26	46,86
Sazonal 8	33,53	216,33	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23	3,65	23,56	0,78	5,02
Sazonal 9	94,64	610,62	0,5	3,23	0,55	3,54	0,5	3,23	13,25	85,52	9,16	59,07
Sazonal 10	0,57	3,67	21,37	137,86	79	509,75	0,5	3,23	3,62	23,35	11,73	75,71
Sazonal 11	45,05	290,7	129,99	838,7	112,88	728,32	154,28	995,43	317,56	2048,95	9,34	60,28
Sazonal 12	132,52	855,08	156,05	1006,9	168,17	1085,06	0,5	3,23	174,02	1122,83	98,07	632,74
<b>Total</b>	<b>1142</b>	<b>7373</b>	<b>1420</b>	<b>9163</b>	<b>1298</b>	<b>8377</b>	<b>1277</b>	<b>8242</b>	<b>1114</b>	<b>7190</b>	<b>1285</b>	<b>8293</b>

cultura	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	0,5	3,38	0,5	3,35	22,14	148,29	0,5	3,35	0,54	3,59	0,52	3,46
Sazonal 1	76,62	494,36	278,35	1795,95	76,34	492,57	252,77	1630,94	57,5	371,01	48,13	310,57
Sazonal 2	58,93	380,25	358,48	2312,96	164,66	1062,41	274,17	1769	93,23	601,51	44,17	284,99
Sazonal 3	788,94	5090,39	192,26	1240,52	82,01	529,12	147,21	949,84	335,11	2162,21	253,83	1637,79
Sazonal 4	23,85	153,87	118,86	766,92	78,21	504,64	170,05	1097,19	215,04	1387,51	8,41	54,29
Sazonal 5	23,86	153,95	4,63	29,85	62,26	401,69	213	1374,32	174,02	1122,81	14,31	92,34
Sazonal 6	133,22	859,57	92,95	599,76	118,47	764,41	32,61	210,39	178,09	1149,04	9,36	60,39
Sazonal 7	0,52	3,33	121,8	785,87	4,34	27,98	13,15	84,82	0,5	3,23	5,29	34,15
Sazonal 8	22,15	142,89	18,31	118,14	52,71	340,12	160,92	1038,28	0,52	3,34	5,03	32,45
Sazonal 9	9,71	62,64	0,61	3,91	163,48	1054,79	0,5	3,23	0,5	3,23	0,93	6
Sazonal 10	1,82	11,74	74,67	481,76	9,74	62,85	0,79	5,08	0,64	4,11	10,13	65,39
Sazonal 11	55,92	360,8	16,86	108,81	51,6	332,91	0,5	3,23	30,94	199,65	253,91	1638,31
Sazonal 12	60,4	389,7	170,41	1099,51	73,69	475,46	0,84	5,4	73,29	472,88	653,26	4214,98
<b>Total</b>	<b>1256</b>	<b>8107</b>	<b>1449</b>	<b>9347</b>	<b>960</b>	<b>6197</b>	<b>1267</b>	<b>8175</b>	<b>1160</b>	<b>7484</b>	<b>1307</b>	<b>8435</b>

Condição de melhor Receita líquida Total

reservatório garante a condição de sustentabilidade hídrica, chegando no final do período com um volume de 3,69 hm<sup>3</sup>, igual ao volume no início do processo.

Tabela 7.19- Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - SERRA VERMELHA I

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	0,5	3,36	0,86	5,79	0,5	3,35	0,5	3,35	5,4	36,17	0,5	3,35
Sazonal 1	210,2	1356,24	312,32	2015,15	233,47	1506,4	567,12	3659,15	85,84	553,83	1	6,44
Sazonal 2	206,69	1333,59	239,4	1544,66	134,03	864,77	440,13	2839,81	64,96	419,13	824,8	5321,81
Sazonal 3	90,9	586,52	153,13	988	93,05	600,38	55,89	360,63	62,32	402,08	0,82	5,31
Sazonal 4	75,96	490,11	0,75	4,83	103,21	665,95	2,88	18,57	53,88	347,66	0,5	3,25
Sazonal 5	9,82	63,36	1,12	7,22	6,78	43,75	0,5	3,23	0,52	3,33	0,5	3,23
Sazonal 6	13,77	88,82	0,66	4,23	0,5	3,23	0,5	3,23	15,58	100,52	0,5	3,25
Sazonal 7	0,5	3,23	0,54	3,51	0,71	4,59	0,59	3,82	15,49	99,92	0,5	3,23
Sazonal 8	0,5	3,23	0,7	4,5	0,63	4,06	0,5	3,23	15,55	100,31	0,5	3,23
Sazonal 9	0,56	3,61	1,19	7,66	2,16	13,95	0,7	4,51	4,89	31,53	0,5	3,23
Sazonal 10	0,6	3,86	0,78	5,01	0,5	3,23	0,5	3,23	4,32	27,87	0,5	3,23
Sazonal 11	18,47	119,19	76,04	490,6	24,96	161,03	0,57	3,67	13,81	89,12	0,51	3,32
Sazonal 12	95,11	613,68	2,91	18,81	37,52	242,08	0,56	3,62	87,91	567,22	0,51	3,27
<b>Total</b>	<b>724</b>	<b>4669</b>	<b>790</b>	<b>5100</b>	<b>638</b>	<b>4117</b>	<b>1071</b>	<b>6910</b>	<b>430</b>	<b>2779</b>	<b>832</b>	<b>5366</b>

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	1,41	9,44	0,82	5,49	0,5	3,35	0,5	3,35	0,5	3,35	0,58	3,91
Sazonal 1	410,46	2648,36	999,88	6451,43	13,36	86,21	456,08	2942,69	997,25	6434,45	998,53	6442,72
Sazonal 2	215,46	1390,22	543,05	3503,84	1000	6452,21	214,15	1381,74	552,1	3562,24	505,52	3261,74
Sazonal 3	26,01	167,79	0,72	4,66	8,2	52,93	177,81	1147,24	0,5	3,23	19,2	123,85
Sazonal 4	5,44	35,1	0,51	3,26	4,79	30,92	110,49	712,88	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 5	1,21	7,8	0,51	3,29	1,45	9,38	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 6	5,91	38,13	0,5	3,24	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 7	0,75	4,82	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 8	19,19	123,81	0,5	3,23	0,53	3,41	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 9	1,41	9,07	0,51	3,28	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 10	1,46	9,44	0,5	3,23	0,5	3,23	0,5	3,25	0,5	3,23	0,5	3,23
Sazonal 11	1,35	8,7	0,53	3,39	40,22	259,49	0,5	3,23	0,5	3,23	0,55	3,53
Sazonal 12	133,19	859,4	2,41	15,58	8,37	54,02	19,17	123,72	0,5	3,23	0,5	3,23
<b>Total</b>	<b>823</b>	<b>5312</b>	<b>1551</b>	<b>10007</b>	<b>1079</b>	<b>6965</b>	<b>982</b>	<b>6334</b>	<b>1555</b>	<b>10032</b>	<b>1528</b>	<b>9862</b>

Condição de melhor Receita líquida Total

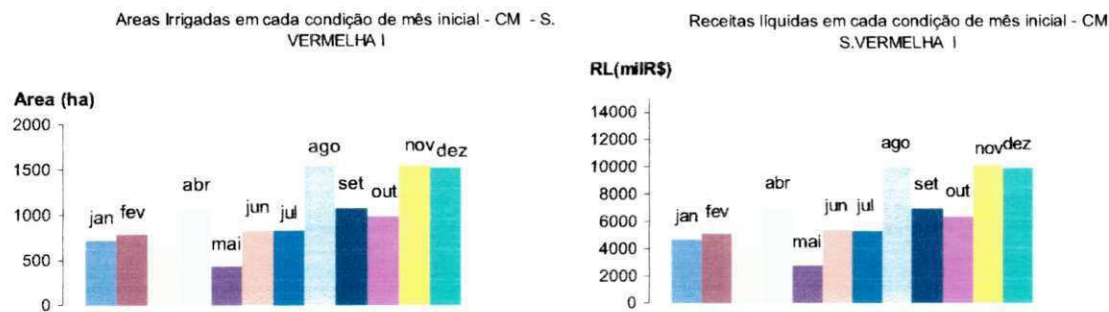


Figura 7.17 – Áreas irrigadas e receitas líquidas



Tabela 7.20 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - NOVEMBRO						
Vini = 3,69 hm <sup>3</sup> , Vmax = 11,80 hm <sup>3</sup> , Vmin = 1,18hm <sup>3</sup>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
NOV	3,45	0,174	0,0	0,005	0,000	0,004
DEZ	3,26	0,164	0,0	0,005	0,000	0,004
JAN	2,57	0,124	0,0	0,584	0,574	1,011
FEV	2,51	0,097	0,0	0,290	1,501	1,625
MAR	3,39	0,11	0,0	0,000	2,187	2,015
ABR	4,35	0,115	0,0	0,335	1,360	1,610
MAI	4,55	0,119	0,0	0,513	0,129	0,513
JUN	4,63	0,12	0,0	0,003	0,000	0,002
JUL	4,47	0,142	0,0	0,004	0,000	0,002
AGO	4,22	0,169	0,0	0,005	0,000	0,003
SET	3,97	0,179	0,0	0,005	0,000	0,003
OUT	3,69	0,19	0,0	0,005	0,000	0,004
MÉDIA	3,75	0,14	0,00	0,15	0,48	0,57

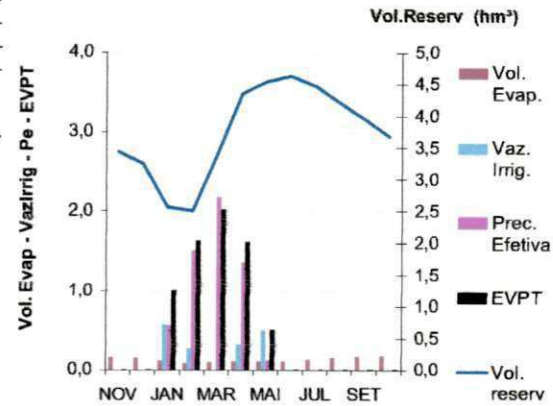


Figura 7.18 – Resultados operacionais – Mês inicial - NOV

#### 7.2.1.4 – Para o açude PIRANHAS

Ao se analisar o açude Piranhas, fica bastante evidente a influência da condição de mês inicial, pois ao verificar-se a Tabela 7.21, a receita líquida obtida parte de um valor mínimo de um pouco mais de R\$ 9.000 mil quando se inicia o processo no mês de dezembro para um valor máximo de quase R\$ 17.000 mil quando o mês inicial é o mês de agosto.

Como demonstrado nos outros reservatórios, o modelo quase não aloca área para cultura perene nem para as culturas sazonais plantadas no segundo semestre do ano. Este é mais um exemplo, como é influente a imposição da condição de sustentabilidade hídrica, que no cenário médio é de 100%. No entanto, já que não se tem previsão exata se os próximos anos serão úmidos ou secos, esta imposição da sustentabilidade hídrica é aceitável para se ter uma garantia de que o ciclo possa se repetir para o próximo ano. Por isso, a razão da utilização do cenário hidrológico médio.

A área total alocada por culturas foi mais de 2600 ha na melhor condição de mês inicial, no caso, o mês de Agosto.

Nos resultados operacionais, mostrados na Tabela 7.22, vê-se que o reservatório atinge o mesmo volume do início do processo. A partir do mês de fevereiro, ele armazena água para garantir que o reservatório atenda a sustentabilidade hídrica.

Tabela 7.21- Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) -

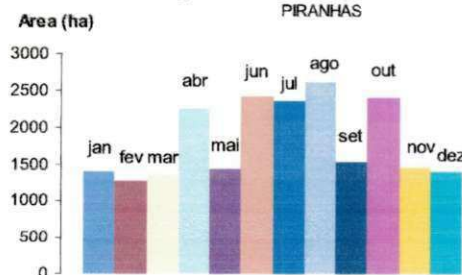
PIRANHAS												
CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL												
cultura	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	5,5	36,8	162,2	1085,9	6,1	40,9	20,3	136,2	197,2	1320,5	5,0	33,5
Sazonal 1	31,4	202,3	160,6	1036,2	211,7	1365,8	174,8	1127,6	127,1	820,3	554,0	3574,7
Sazonal 2	276,4	1783,3	208,9	1348,1	89,8	579,5	466,6	3010,8	113,9	734,6	803,4	5183,9
Sazonal 3	453,6	2926,5	123,7	797,9	6,0	38,6	160,0	1032,2	125,0	806,3	168,0	1084,1
Sazonal 4	20,8	134,5	129,1	832,9	424,5	2738,7	442,7	2856,2	76,9	495,9	298,8	1927,7
Sazonal 5	304,6	1965,1	152,8	986,0	27,8	179,5	208,2	1343,2	293,5	1893,9	156,8	1011,7
Sazonal 6	30,3	195,4	8,1	51,9	5,0	32,3	118,2	762,6	192,3	1240,5	54,9	354,0
Sazonal 7	84,0	541,9	5,8	37,4	24,7	159,5	19,2	123,5	57,4	370,5	147,9	954,4
Sazonal 8	5,0	32,3	5,4	34,8	26,3	170,0	41,2	265,5	49,3	317,8	83,7	540,0
Sazonal 9	7,4	47,9	5,9	38,1	494,4	3189,8	21,9	141,1	36,4	234,6	6,7	42,9
Sazonal 10	101,5	654,7	5,8	37,4	6,3	40,6	73,8	476,0	87,6	565,0	20,3	130,8
Sazonal 11	35,7	230,5	113,7	733,8	26,7	172,0	194,1	1252,7	44,4	286,7	125,6	810,1
Sazonal 12	57,7	372,5	197,2	1272,0	10,2	65,6	336,0	2167,7	39,4	254,2	8,2	52,9
<b>Total</b>	<b>1414</b>	<b>9124</b>	<b>1279</b>	<b>8292</b>	<b>1359</b>	<b>8773</b>	<b>2277</b>	<b>14695</b>	<b>1440</b>	<b>9341</b>	<b>2433</b>	<b>15701</b>

cultura	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	5,2	34,5	6,9	45,9	124,5	834,0	5,0	33,5	61,4	410,9	19,7	132,0
Sazonal 1	389,2	2511,2	233,0	1503,0	104,2	672,3	416,8	2689,0	59,0	380,7	8,7	55,9
Sazonal 2	843,9	5444,8	186,7	1204,6	131,5	848,4	661,4	4267,3	368,6	2378,4	16,7	107,9
Sazonal 3	46,0	296,6	404,2	2607,7	129,1	833,3	267,7	1727,0	37,6	242,4	63,7	411,3
Sazonal 4	5,8	37,6	500,3	3228,1	133,5	861,2	30,2	194,5	39,1	252,2	5,0	32,3
Sazonal 5	7,0	45,2	112,6	726,7	103,1	665,3	72,2	466,1	52,2	336,9	623,7	4024,2
Sazonal 6	46,5	299,7	26,0	167,7	96,6	623,3	86,8	560,3	17,9	115,6	5,8	37,2
Sazonal 7	5,0	32,3	7,9	50,9	131,1	845,5	65,2	420,5	16,9	109,2	5,0	32,5
Sazonal 8	8,0	51,9	10,9	70,2	90,5	584,2	141,8	914,7	51,9	335,1	6,8	44,0
Sazonal 9	5,8	37,6	9,4	60,8	111,0	716,1	41,9	270,2	14,9	96,4	5,3	34,1
Sazonal 10	25,1	161,8	7,3	46,8	116,9	753,9	107,7	695,0	13,8	89,0	20,1	129,6
Sazonal 11	149,0	961,6	5,3	34,1	138,4	893,0	199,5	1286,9	719,6	4643,0	20,1	129,7
Sazonal 12	826,8	5334,5	1118,0	7213,3	129,7	836,8	326,5	2106,9	5,0	32,3	605,4	3906,0
<b>Total</b>	<b>2363</b>	<b>15249</b>	<b>2628</b>	<b>16960</b>	<b>1540</b>	<b>9967</b>	<b>2423</b>	<b>15632</b>	<b>1458</b>	<b>9422</b>	<b>1406</b>	<b>9077</b>

Condição de melhor Receita Líquida Total

Áreas Irrigadas em cada condição de mês inicial - CM - PIRANHAS



Receitas Líquidas em cada condição de mês inicial - CM - PIRANHAS

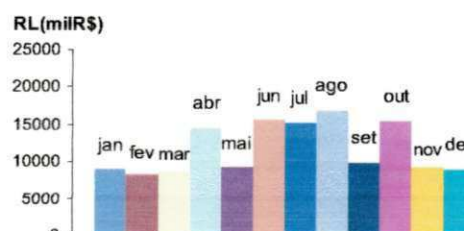


Figura 7.19 – Áreas irrigadas e Receitas líquidas

Tabela 7.22 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês inicial - AGOSTO						
Vini = 19,21 hm³, Vmax = 25,696 hm³, Vmin = 2,569 hm³						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV. (hm³)	VOL. EVAP. (hm³)	VOL. VERT. (hm³)	VAZ. IRRIG. (hm³)	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)
AGO	18,29	0,406	0,0	0,489	0	0,366
SET	17,66	0,438	0,0	0,193	0	0,145
OUT	17,02	0,478	0,0	0,154	0	0,116
NOV	16,45	0,449	0,0	0,138	0	0,104
DEZ	13,60	0,394	0,0	2,41	0,29	2,09
JAN	10,82	0,305	0,0	2,59	1,09	3,03
FEV	10,22	0,233	0,0	1,52	2,15	3,26
MAR	14,11	0,264	0,0	0,151	3,36	3,13
ABR	20,57	0,29	0,0	0,126	2,04	1,87
MAI	22,01	0,302	0,0	1,95	0,524	1,98
JUN	20,83	0,292	0,0	2,10	0,203	1,77
JUL	19,21	0,337	0,0	1,56	0,037	1,20
<b>MÉDIA</b>	<b>16,73</b>	<b>0,35</b>	<b>0,00</b>	<b>1,11</b>	<b>0,81</b>	<b>1,59</b>

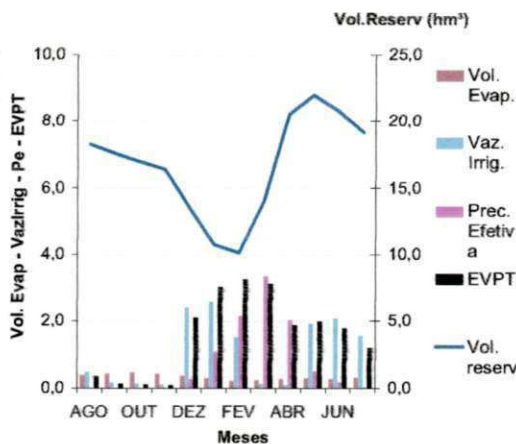


Figura 7.20 – Resultados operacionais – Mês inicial - AGOSTO

## 7.2.1.5 – Para o açude VIDÉO

Para o açude Vídeo, a condição de mês inicial que obteve melhores resultados para o cenário agrícola considerado foi com o início no mês de fevereiro. Foi possível, nessa condição, alocar uma área equivalente a 634 ha gerando uma receita líquida de R\$ 4092 mil.

Mais uma vez, o modelo da preferência as culturas sazonais plantadas entre os meses de janeiro e abril, que no caso foi praticamente a cultura sazonal 1.

Diferentemente dos outros reservatórios estudados, o melhor resultado foi para um mês inicial que coincide com o início do período chuvoso. Isso ocorre em função da pequena capacidade de acumulação deste reservatório.

O reservatório chega no fim do período com um volume de 1,92 hm<sup>3</sup> em janeiro, equivalente ao volume inicial, conseguindo também garantir a condição de sustentabilidade hídrica.

Tabela 7.23 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) - VIDÉO

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	1,1	7,3	1,0	6,7	1,0	6,7	1,0	6,7	1,0	6,7	1,0	6,7
Sazonal 1	559,7	3611,3	559,6	3610,9	543,0	3503,6	401,5	2590,8	459,9	2967,4	494,7	3192,0
Sazonal 2	19,5	125,9	22,1	142,6	1,0	6,5	1,1	7,4	1,0	6,5	1,4	8,9
Sazonal 3	6,5	41,9	9,5	61,1	1,0	6,6	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 4	2,9	18,6	6,9	44,6	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 5	3,3	21,6	8,6	55,3	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 6	1,0	6,5	2,9	18,6	1,0	6,5	1,1	6,8	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 7	3,5	22,5	9,7	62,3	1,0	6,7	1,0	6,5	1,1	6,9	1,0	6,7
Sazonal 8	1,0	6,5	2,0	12,7	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,7	1,0	6,5
Sazonal 9	1,0	6,5	5,6	35,9	1,0	6,5	1,0	6,5	1,2	7,7	1,0	6,5
Sazonal 10	1,0	6,6	2,0	12,7	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 11	1,0	6,7	2,3	15,1	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 12	1,3	8,3	2,1	13,8	1,0	6,5	1,1	7,1	1,0	6,5	1,0	6,5
<b>Total</b>	<b>603</b>	<b>3890</b>	<b>634</b>	<b>4092</b>	<b>555</b>	<b>3582</b>	<b>414</b>	<b>2671</b>	<b>472</b>	<b>3047</b>	<b>507</b>	<b>3272</b>

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	1,0	6,7	1,0	6,7	-	-	1,0	6,7	1,0	6,7	1,0	6,8
Sazonal 1	518,6	3346,2	556,4	3589,7	-	-	566,6	3655,9	551,2	3556,3	557,9	3599,7
Sazonal 2	1,0	6,6	16,9	109,3	-	-	28,4	183,0	34,2	220,4	19,8	127,4
Sazonal 3	4,6	29,7	2,7	17,5	-	-	7,2	46,2	17,1	110,3	6,8	44,0
Sazonal 4	1,4	9,2	1,0	6,5	-	-	4,5	29,2	1,1	7,2	3,6	23,2
Sazonal 5	3,1	20,2	1,0	6,5	-	-	1,1	7,2	1,0	6,5	4,5	29,3
Sazonal 6	1,0	6,5	3,0	19,2	-	-	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 7	6,0	38,5	8,1	51,9	-	-	1,0	6,7	1,0	6,5	5,2	33,6
Sazonal 8	1,0	6,5	1,0	6,5	-	-	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 9	2,6	16,9	2,7	17,5	-	-	1,0	6,5	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 10	17,5	113,0	2,9	19,0	-	-	1,0	6,5	4,1	26,4	1,0	6,5
Sazonal 11	4,3	27,5	4,0	25,8	-	-	6,6	42,4	1,0	6,5	1,0	6,5
Sazonal 12	1,1	6,8	1,1	7,0	-	-	1,1	7,0	1,0	6,5	1,0	6,5
<b>Total</b>	<b>563</b>	<b>3634</b>	<b>602</b>	<b>3883</b>			<b>621</b>	<b>4010</b>	<b>616</b>	<b>3973</b>	<b>605</b>	<b>3903</b>

Condição de melhor Receita líquida Total



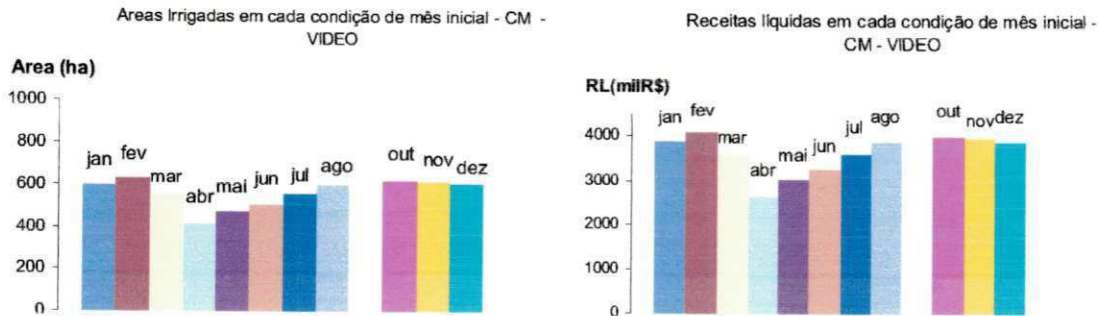


Figura 7.21 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.24 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - FEVEREIRO						
Vini = 1,92 hm <sup>3</sup> , Vmax = 6,04 hm <sup>3</sup> , Vmin = 0,604 hm <sup>3</sup>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV. (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
FEV	1,17	0,07	0,0	0,86	0,04	0,69
MAR	1,73	0,08	0,0	0,00	0,96	0,82
ABR	2,58	0,09	0,0	0,00	1,30	0,56
MAI	2,89	0,10	0,0	0,06	0,00	0,05
JUN	2,94	0,10	0,0	0,04	0,00	0,03
JUL	2,84	0,12	0,0	0,04	0,00	0,03
AGO	2,65	0,14	0,0	0,05	0,00	0,03
SET	2,45	0,15	0,0	0,05	0,00	0,04
OUT	2,26	0,16	0,0	0,03	0,01	0,03
NOV	2,09	0,14	0,0	0,03	0,00	0,02
DEZ	1,96	0,13	0,0	0,02	0,01	0,02
JAN	1,92	0,12	0,0	0,00	0,73	0,58
MÉDIA	2,29	0,12	0,00	0,10	0,25	0,24

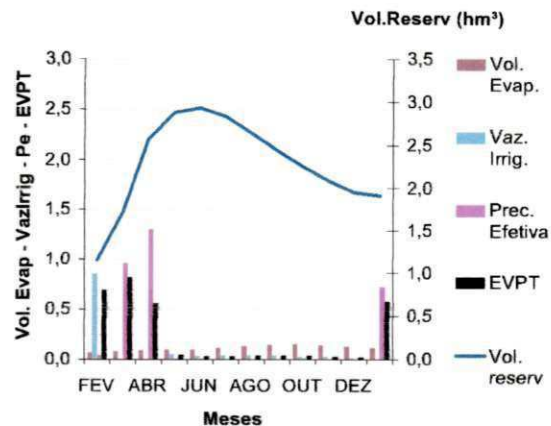


Figura 7.22 – Resultados operacionais – Mês inicial - FEV

#### 7.2.1.6 – Para o açude VAZANTE

Com relação ao açude Vazante, como se pode verificar na Tabela 7.25, o modelo até que distribui bem as áreas alocadas para as culturas em todas as condições de mês inicial. No entanto, a mesma situação se repete para todas elas, onde a cultura perene não tem preferência perante as sazonais. Pois na melhor condição de mês inicial, que foi o mês de dezembro, o modelo praticamente não aloca área para a cultura perene e distribui áreas consideráveis para as sazonais, principalmente as sazonais 2 e 3, plantadas entre os meses de fevereiro e junho, respectivamente.

Nessa condição de mês inicial, a área total alocada por culturas foi mais de 4000ha com uma receita líquida de aproximadamente R\$ 26.000 mil.

Com relação à operação do reservatório, vê-se que ele quase atinge o volume mínimo no mês de janeiro, que é de 0,91 hm<sup>3</sup> e consegue no mês de maio, ficar com seu volume máximo. A partir daí, ele libera água para irrigação, já que é evidente a baixa precipitação efetiva na área irrigada a partir desse mês, como pode-se verificar na Tabela 7.26.

E no final, ele consegue atingir seu volume inicial do processo, garantindo assim a sustentabilidade hídrica do reservatório.



Tabela 7.25 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (Perene + Sazonal) -

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)
Perene	35,8	239,7	5	33,5	-	-	5	33,5	5,65	37,9	22,3	149,3
Sazonal 1	259,17	1672,2	194,28	1253,5	-	-	52,48	338,6	37,97	245,0	115,31	744,0
Sazonal 2	950,16	6130,6	842,01	5432,8	-	-	585,56	3778,2	43	277,5	680,18	4388,7
Sazonal 3	907,51	5855,4	351,01	8717,0	-	-	168,85	7541,7	39,2	253,0	61,94	6851,9
Sazonal 4	552,69	3566,1	287,3	1853,7	-	-	189,77	1224,4	175,82	1134,4	313,08	2020,1
Sazonal 5	75,66	488,2	74,35	479,7	-	-	106,92	689,9	370,24	2388,9	120,2	775,6
Sazonal 6	44,35	286,2	81	522,6	-	-	63,47	409,5	49,46	319,1	150,05	968,2
Sazonal 7	36,43	235,1	15,31	98,8	-	-	9,93	64,1	14	90,3	91,35	589,4
Sazonal 8	31,15	201,0	32,68	210,8	-	-	22,36	144,3	13,98	90,2	25,9	167,1
Sazonal 9	5,03	32,5	63,37	408,9	-	-	9,89	63,8	424,47	2738,7	46,36	299,1
Sazonal 10	13,99	90,3	15,18	97,9	-	-	97,21	627,2	48,19	310,9	108,92	702,8
Sazonal 11	193,13	1246,1	6,08	39,2	-	-	36,66	236,6	33,12	213,7	39,44	254,5
Sazonal 12	438,84	2831,5	261,19	1685,2	-	-	128,06	826,3	122,58	790,9	396,99	2561,5
<b>Total</b>	<b>3544</b>	<b>22875</b>	<b>2229</b>	<b>20834</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1476</b>	<b>15978</b>	<b>1378</b>	<b>8891</b>	<b>2172</b>	<b>20472</b>

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)
Perene	42,43	284,2	5	33,5	28,23	189,1	42,27	283,1	47,75	319,7	5	33,5
Sazonal 1	142,96	922,4	307,74	1985,6	12,3	79,4	162,19	1046,5	133,71	862,7	311,17	2007,7
Sazonal 2	202,32	1305,4	907,29	5854,0	65,18	420,6	705,7	4553,3	702,79	4534,6	895,44	5777,6
Sazonal 3	158,4	1022,0	982,67	6340,4	301,97	1948,4	103,85	7122,3	1104,23	7124,7	1255,5	8100,7
Sazonal 4	248,5	1603,4	381,83	2463,6	43,65	281,6	340,47	2196,8	316,2	2040,2	341,22	2201,7
Sazonal 5	236,41	1525,3	130,1	839,5	158,32	1021,5	183,56	1184,4	152,54	984,2	114,01	735,6
Sazonal 6	5,14	33,2	270,42	1744,8	116,19	749,7	235,65	1520,5	197,89	1276,8	103,69	669,1
Sazonal 7	11,26	72,7	49,28	318,0	54,94	354,5	62,53	403,4	38,88	250,9	15,2	98,1
Sazonal 8	94,39	609,0	5,01	32,3	5,04	32,5	61,96	399,8	43,33	279,6	67,35	434,6
Sazonal 9	107,79	695,5	5,03	32,5	45,18	291,5	78,6	507,1	78,49	506,5	93,14	600,9
Sazonal 10	149,48	964,5	5,05	32,6	8,7	56,1	53,14	342,9	77,04	497,1	11,32	73,0
Sazonal 11	235,4	1518,8	158,8	1024,6	52,69	339,9	54,82	353,7	79,23	511,2	268,37	1731,6
Sazonal 12	127,32	821,5	639,2	4124,3	264,09	1703,9	398,81	2573,2	391,86	2528,4	530,73	3424,4
<b>Total</b>	<b>1762</b>	<b>11378</b>	<b>3847</b>	<b>24826</b>	<b>1156</b>	<b>7469</b>	<b>2484</b>	<b>22487</b>	<b>3364</b>	<b>21717</b>	<b>4012</b>	<b>25888</b>

Condição de melhor Receita Líquida Total

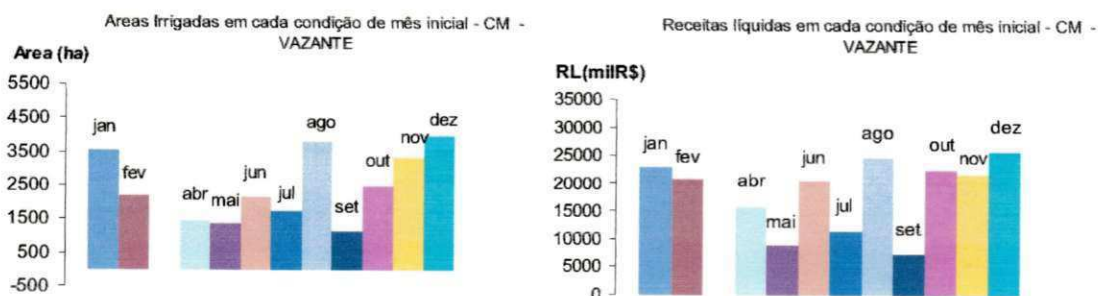


Figura 7.23 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.26 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - DEZEMBRO						
Vini =4,18 hm³, Vmax =9,09 hm³, Vmin= 0,909 hm³						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV. (hm³)	VOL. EVAP. (hm³)	VOL. VERT. (hm³)	VAZ. IRRIG. (hm³)	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)
DEZ	2,50	0,11	0,0	1,49	0,1	1,25
JAN	1,18	0,05	0,0	1,44	0,56	1,63
FEV	1,30	0,04	0,0	0,681	1,69	2,16
MAR	4,11	0,10	0,0	0	4,27	2,94
ABR	8,93	0,17	0,0	0,023	3,45	2,90
MAI	9,09	0,17	0,0	2,54	0,93	2,83
JUN	8,13	0,16	0,0	1,95	0,31	1,77
JUL	7,44	0,18	0,0	0,913	0,01	0,69
AGO	6,68	0,20	0,0	0,597	0,00	0,45
SET	5,91	0,21	0,0	0,547	0,00	0,41
OUT	5,19	0,21	0,0	0,496	0,00	0,37
NOV	4,18	0,17	0,0	0,832	0,03	0,66
MÉDIA	5,39	0,15	0,00	0,96	0,95	1,51

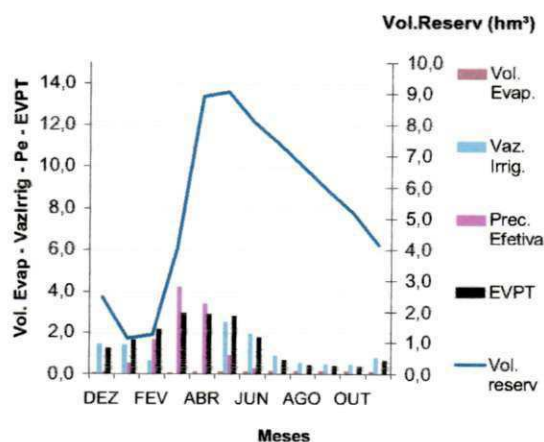


Figura 7.24– Resultados operacionais – Mês de início - DEZ

7.2.2. CENÁRIO AGRÍCOLA (CA3) – *Fixando área para as perenes obtidas no cenário Seco e otimizando as sazonais;*

Na escolha das áreas das culturas perenes obtidas no cenário hidrológico Seco, procurou-se estabelecê-las de acordo com resultados baseados nas condições mais favoráveis à sustentabilidade dos reservatório. Portanto, baseando-se na Tabela 7.14, foram escolhidas as seguintes áreas para as culturas perenes:

Tabela 7.27 - Áreas das culturas perenes - Cenário Seco

<b>Reservatório</b>	<b>ISH</b>	<b>Área (hectare)</b>
Condado	75%	87
Santa Inês	60%	73
S. Vermelha I	40%	43
Piranhas	80%	94
Vidéo	40%	54
Vazante	70%	19

Definidas as áreas a serem fixadas para as culturas perenes, criou-se um novo cenário agrícola (CA3), o qual fixa as áreas das culturas perenes obtidas no cenário hidrológico Seco e otimizam-se as áreas a serem alocadas para as culturas sazonais. O modelo de otimização foi aplicado novamente para condições variáveis de mês inicial, para cada um dos reservatórios estudados. Os resultados estão mostrados a seguir.

7.2.2.1 – Para o açude CONDADO

Para esse cenário agrícola, com relação ao açude Condado, verifica-se que o melhor mês para o início do processo mudou em relação ao cenário CA1 (Perene+Sazonais) que foi o mês de setembro. Neste cenário, a melhor condição foi o mês de Julho, onde o modelo alocou maior área em relação às outras condições iniciais.

Percebe-se pela Tabela 7.28 que, depois de irrigar a área alocada para a cultura perene que foi fixada, o modelo deu preferência em irrigar a cultura sazonal 2, plantada de Fevereiro a Maio, segundo o plano cultural visto na Tabela 7.2.

Na Tabela 7.29, vê-se que, para garantir a sustentabilidade hídrica no final do período, o reservatório libera água no início de processo até o mês de Janeiro. A partir daí, onde começa o período chuvoso, o reservatório vai armazenando água para que no fim do período esteja com o volume maior ou igual ao seu volume inicial. Vê-se na Tabela 7.29 que o reservatório terminou o processo com volume igual a 23,1hm<sup>3</sup>.

Tabela 7.28 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - CONDADO

cultura	CONDICÃO D E MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	87	582,6	87	582,6	87	582,9	87	582,6	87	582,6	87	582,9
Sazonal 1	70,62	455,6	333,96	2154,8	259,43	1673,9	427,86	2760,6	417,71	2695,2	108,77	701,8
Sazonal 2	70,34	453,9	721,09	4652,6	141,54	913,2	387,17	2498,1	42,44	6726,1	710,66	4585,3
Sazonal 3	70,19	452,9	373,1	2407,3	6,43	41,5	297,35	1918,6	212,07	1368,3	8,66	55,9
Sazonal 4	70,37	454,1	46,88	302,5	57,3	369,7	99,25	640,4	460,69	2972,4	29,23	188,6
Sazonal 5	70,61	455,6	41,24	266,1	79,62	513,8	5,06	32,7	0,79	5,1	8,11	52,3
Sazonal 6	69,85	450,7	0,78	5,1	0	0,0	20,9	134,9	0	0,0	11,33	73,1
Sazonal 7	70,31	453,6	27,11	174,9	0	0,0	0,29	1,9	0	0,0	1,72	11,1
Sazonal 8	69,83	450,6	0,01	0,1	5,76	37,1	3,48	22,4	0	0,0	0,37	2,4
Sazonal 9	70,3	453,6	7,69	49,6	5,42	34,9	11,15	72,0	0	0,0	243,69	1572,4
Sazonal 10	69,83	450,6	37,05	239,1	77,57	500,5	24,99	161,3	0	0,0	18,91	122,0
Sazonal 11	69,85	450,7	0	0,0	243,56	1571,5	130,77	843,8	0	0,0	0,09	0,6
Sazonal 12	70,61	455,6	328,52	2119,7	302,2	1949,8	213,87	1380,0	0,56	3,6	165,57	1068,28
<b>Total</b>	<b>930</b>	<b>6020</b>	<b>2004</b>	<b>12954</b>	<b>1266</b>	<b>8189</b>	<b>1709</b>	<b>11049</b>	<b>1221</b>	<b>14353</b>	<b>1394</b>	<b>9017</b>

cultura	CONDICÃO DE MELHOR RECEITA LÍQUIDA TOTAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	87	585,0	87	585,0	87	582,9	87	584,6	-	-	87	585,0
Sazonal 1	31,06	200,4	257,91	1664,1	472,51	3048,7	229,12	1478,3	-	-	63,88	412,2
Sazonal 2	2589,91	16710,7	239,97	1548,4	453,37	2925,2	131,21	846,6	-	-	89,54	7029,9
Sazonal 3	20,13	129,9	119,32	769,9	445,1	2871,9	147,72	953,1	-	-	86,03	555,1
Sazonal 4	6,21	40,1	109,11	704,0	417,53	2694,0	46,07	297,3	-	-	0	0,0
Sazonal 5	4,46	28,8	111,51	719,5	53,7	346,5	135,2	872,3	-	-	0	0,0
Sazonal 6	8,7	56,1	5,91	38,1	4,45	28,7	56,42	364,1	-	-	0	0,0
Sazonal 7	7,76	50,0	0,01	0,0	3,52	22,7	159,85	1031,4	-	-	75,1	484,6
Sazonal 8	1,33	8,6	0	0,0	5,49	35,5	0,01	0,0	-	-	222,44	1435,3
Sazonal 9	3,27	21,1	1,55	10,0	0,05	0,3	12,2	78,7	-	-	0	0,0
Sazonal 10	2,67	17,3	9,49	61,2	0	0,0	0,42	2,7	-	-	0	0,0
Sazonal 11	0,01	0,1	228,9	1476,9	44,25	285,5	118,06	761,7	-	-	0	0,0
Sazonal 12	10,52	67,9	238,06	1536,0	19,52	125,9	151,57	977,9	-	-	0	0,0
<b>Total</b>	<b>2773</b>	<b>17916</b>	<b>1409</b>	<b>9113</b>	<b>2007</b>	<b>12968</b>	<b>1275</b>	<b>8249</b>	-	-	<b>624</b>	<b>10502</b>

Condição de melhor Receita Líquida Total

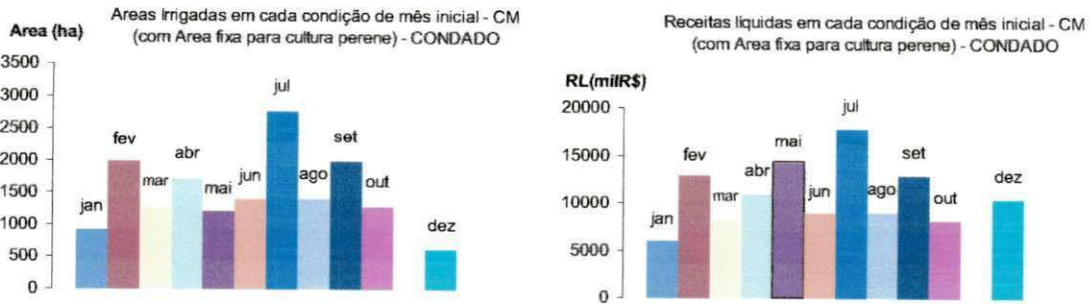


Figura 7.25 – Área irrigadas e Receitas líquidas

Tabela 7.29 - Resultados operacionais do sistema

MÊS	Melhor Condição de Mês Inicial - JULHO					
	Vini = 23,1 hm³, Vmax = 35,01, Vmini = 3,501 hm³					
	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
VOL. RESERV (hm³)	VOL. EVAP. (hm³)	VOL. VERT. (hm³)	VAZ. IRRIG. (hm³)	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)	
JUL	22,7	0,39	0,0	0,15	0,00	0,12
AGO	22,1	0,48	0,0	0,18	0,00	0,14
SET	21,4	0,51	0,0	0,19	0,00	0,15
OUT	20,6	0,56	0,0	0,20	0,00	0,16
NOV	20,0	0,53	0,0	0,17	0,01	0,14
DEZ	19,5	0,51	0,0	0,16	0,02	0,15
JAN	19,3	0,44	0,0	0,11	0,08	0,16
FEV	19,9	0,36	0,0	0,02	2,63	2,21
MAR	21,8	0,35	0,0	0,00	3,86	3,06
ABR	23,7	0,33	0,0	1,29	2,40	3,36
MAI	22,9	0,33	0,0	2,50	0,63	2,50
JUN	23,1	0,33	0,0	0,13	0,01	0,11
MÉDIA	21,4	0,43	0,00	0,42	0,80	1,02

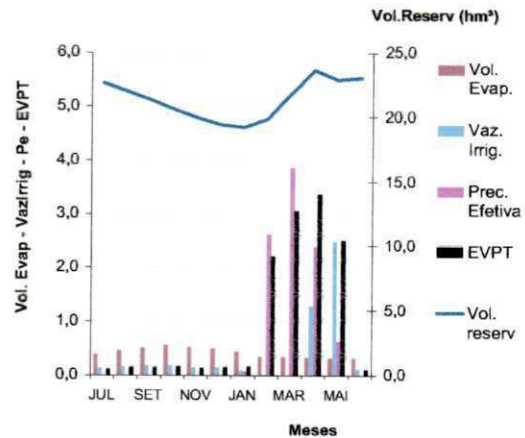


Figura 7.26 – Resultados operacionais – Mês de início - JUL



## 7.2.2.2 – Para o açude SANTA INÊS

Para o açude Santa Inês, a melhor condição de mês inicial, quando se fixou a área da cultura perene, mudou em relação ao cenário anterior (CA1). O mês de outubro foi a melhor alternativa, gerando uma área total das culturas em torno de 1400 ha com uma receita líquida total de R\$ 9.221 mil.

Segundo a Tabela 7.30, depois de atender os 73 hectares para a cultura perene, o modelo distribui bem as áreas para as culturas sazonais 1, 2, 3, 4, 5, 11 e 12, as quais são plantadas entre os meses de janeiro e agosto e novembro e dezembro, respectivamente.

Para tanto, como se verifica na Tabela 7.31, o reservatório liberou água desde Outubro até o mês de Janeiro e, a partir daí, como estando no período das chuvas na região, ele vai armazenando água para atender a sustentabilidade hídrica quando chegar no fim do mês de setembro. Condição esta que também é satisfeita neste cenário agrícola para esse reservatório.

Tabela 7.30 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - SANTA INÊS

cultura	CONDIÇÃO D E MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	73	488,9	73	488,9	73	489,0	73	489,0	73	488,9	73	488,9
Sazonal 1	65,99	425,8	160,96	1038,5	2,35	15,2	473,52	3055,2	0,39	2,5	268,24	1730,7
Sazonal 2	73,25	472,7	317,43	2048,1	1,44	9,3	216	1393,7	299,48	1932,3	243,68	1572,3
Sazonal 3	28,87	186,3	65,57	423,1	218,03	1406,8	85,7	552,9	198,19	1278,8	195,23	1259,7
Sazonal 4	16,63	107,3	56,53	364,8	199,16	1285,0	127,87	825,1	163,62	1055,7	129	832,3
Sazonal 5	52,19	336,7	27,24	175,8	0	0,0	54,07	348,9	153,96	993,4	64,62	417,0
Sazonal 6	58,61	378,2	24,9	160,7	0,01	0,1	12,42	80,1	86,72	559,5	0,71	4,6
Sazonal 7	48,7	314,2	32,73	211,2	0	0,0	0,01	0,1	0,12	0,8	14,7	94,9
Sazonal 8	28,11	181,4	29,78	192,2	0,09	0,6	36,9	238,1	0,28	1,8	17,84	115,1
Sazonal 9	76,2	491,7	2	12,9	0	0,0	2,87	18,5	0,26	1,7	7,15	46,1
Sazonal 10	38,31	247,2	15,71	101,4	0	0,0	28,5	183,9	0,04	0,3	6,98	45,0
Sazonal 11	45,83	295,7	25,75	166,2	0	0,0	44,09	284,5	0,07	0,5	49,81	321,4
Sazonal 12	60,2	388,4	383,05	2471,5	580,88	3748,0	151,76	979,2	43,95	283,6	219,85	1418,5
<b>Total</b>	<b>666</b>	<b>4314</b>	<b>1215</b>	<b>7855</b>	<b>1075</b>	<b>6954</b>	<b>1307</b>	<b>8449</b>	<b>1020</b>	<b>6600</b>	<b>1291</b>	<b>8346</b>
cultura	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
	Perene	73	489,0	73	489,2	73	488,9	73	489,0	73	488,9	73
Sazonal 1	696,25	4492,3	191,62	1236,4	381,26	2459,9	343,95	2219,3	0,13	0,8	131,6	849,1
Sazonal 2	124,82	805,4	182,4	1176,9	236,06	1523,1	312,54	2016,6	719,79	4644,2	7,14	46,1
Sazonal 3	0,1	0,7	134,28	866,4	3,75	24,2	164,96	1064,4	30,66	197,8	423,87	2734,9
Sazonal 4	105,76	682,4	98,17	633,4	11,24	72,6	105,53	680,9	11,8	76,1	364,4	2351,2
Sazonal 5	89,41	576,9	135,44	873,9	0	0,0	119,03	768,0	45,66	294,6	8,35	53,8
Sazonal 6	82,78	534,1	5,26	34,0	4,12	26,6	0,34	2,2	98,54	635,8	128	825,9
Sazonal 7	39,46	254,6	3,05	19,7	190,87	1231,6	2,32	15,0	44,42	286,6	0,3	1,9
Sazonal 8	35,58	229,6	0,61	3,9	82,47	532,1	0,22	1,4	69,59	449,0	0,32	2,1
Sazonal 9	0,12	0,8	14,64	94,5	29,02	187,2	0,59	3,8	0,3	1,9	0	0,0
Sazonal 10	7,29	47,1	19,94	128,6	1,89	12,2	35,38	228,3	0,34	2,2	0,15	1,0
Sazonal 11	27,39	176,7	89,04	574,5	0,75	4,8	164,43	1060,9	16,73	107,9	1,29	8,3
Sazonal 12	78,52	506,6	136,96	883,7	195,06	1258,6	104,06	671,4	176,42	1138,3	8,27	53,4
<b>Total</b>	<b>1361</b>	<b>8796</b>	<b>1084</b>	<b>7015</b>	<b>1209</b>	<b>7822</b>	<b>1426</b>	<b>9221</b>	<b>1287</b>	<b>8324</b>	<b>1147</b>	<b>7417</b>

Condição de melhor Receita líquida Total

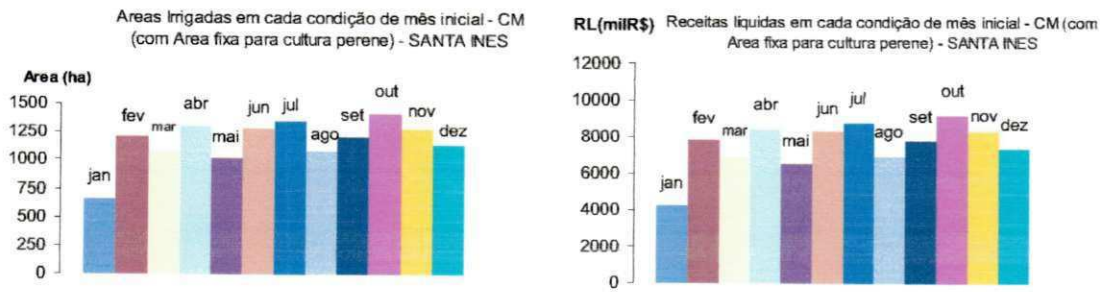


Figura 7.27 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.31 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - OUTUBRO						
Vini = 9,44 hm³, Vmax =26,11, Vmini = 2,611 hm³						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm³)	VOL. EVAP. (hm³)	VOL. VERT. (hm³)	VAZ. IRRIG. (hm³)	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)
OUT	8,89	0,36	0,0	0,20	0,00	0,16
NOV	8,13	0,32	0,0	0,45	0,02	0,36
DEZ	7,25	0,29	0,0	0,67	0,07	0,58
JAN	6,51	0,24	0,0	0,71	0,41	0,95
FEV	6,88	0,20	0,0	0,20	0,97	1,06
MAR	8,54	0,21	0,0	0,00	1,41	1,13
ABR	10,87	0,22	0,0	0,20	0,88	1,01
MAI	11,51	0,23	0,0	0,75	0,18	0,74
JUN	11,21	0,22	0,0	0,57	0,04	0,46
JUL	10,55	0,26	0,0	0,49	0,00	0,37
AGO	9,90	0,31	0,0	0,34	0,00	0,26
SET	9,45	0,33	0,0	0,13	0,00	0,11
MÉDIA	9,14	0,27	0,00	0,39	0,33	0,60

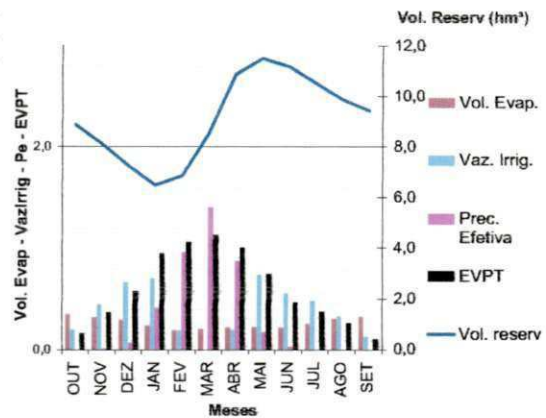


Figura 7.28 – Resultados operacionais – Mês inicial - OUT

7.2.2.3 – Para o açude SERRA VERMELHA I

Para Serra Vermelha I, a condição de mês inicial sendo o mês de março não obteve solução viável no modelo de otimização, pois foi violada alguma ou algumas restrições do modelo. Dentre as outras condições de mês inicial, a que ofereceu melhores resultados em termos de benefícios econômicos foi ao iniciar-se o processo no mês de outubro.

Nesse reservatório, vê-se que o mesmo comportamento ocorrido dentre os outros, ou seja, o reservatório depois de irrigar a área fixada para a cultura perene, ele irriga as culturas sazonais plantadas logo no primeiro semestre, nesse caso, entre os meses de janeiro e maio.

E da mesma forma que o açude Santa Inês, que também teve como melhor condição o mês de outubro, o reservatório libera mais água nos primeiros quatro meses desde o início do processo, e armazena água quando se inicia o período chuvoso na região, pela mesma razão dos anteriores, ou seja, garantir a condição de sustentabilidade hídrica.

Tabela 7.32 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - SERRA VERMELHA I

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	43	288,0	43	288,0	-	-	43	288,0	43	288,0	43	288,0
Sazonal 1	290,17	1872,2	697,59	4501,0	-	-	769,53	4965,2	860,67	5553,2	1000	6452,2
Sazonal 2	285,31	1840,9	250,28	1614,9	-	-	27,5	177,4	3,77	24,3	0,31	2,0
Sazonal 3	11,25	72,6	0,87	5,6	-	-	0	0,0	6,01	38,8	0,11	0,7
Sazonal 4	67,43	435,1	0	0,0	-	-	0,01	0,1	3,92	25,3	0	0,0
Sazonal 5	0	0,0	0	0,0	-	-	0,01	0,1	0	0,0	0	0,0
Sazonal 6	0	0,0	0	0,0	-	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sazonal 7	0	0,0	0	0,0	-	-	0,01	0,1	0	0,0	0	0,0
Sazonal 8	0	0,0	0	0,0	-	-	0,01	0,1	0,02	0,1	0	0,0
Sazonal 9	0	0,0	0	0,0	-	-	0,3	1,9	0,12	0,8	0	0,0
Sazonal 10	0	0,0	0	0,0	-	-	0,04	0,3	0,06	0,4	0	0,0
Sazonal 11	0	0,0	0,34	2,2	-	-	0,03	0,2	0	0,0	0,16	1,0
Sazonal 12	45,93	296,4	0,16	1,1	-	-	0,6	3,9	1,47	9,5	0,24	1,5
<b>Total</b>	<b>743</b>	<b>4805</b>	<b>992</b>	<b>6413</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>841</b>	<b>5437</b>	<b>919</b>	<b>5940</b>	<b>1044</b>	<b>6745</b>

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	43	288,0	43	288,0	43	288,0	43	288,0	43	288,0	43	288,0
Sazonal 1	190,43	1228,7	127,44	822,3	385,27	2485,8	608,68	3927,3	364,38	2351,0	526,21	3395,2
Sazonal 2	166,68	1075,5	19,63	126,6	623,49	4022,9	402,91	2599,7	614,97	3967,9	490,87	3167,2
Sazonal 3	93,68	604,5	5,43	35,0	0	0,0	26,78	172,8	0	0,0	0	0,0
Sazonal 4	23,22	149,8	1,56	10,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,21	1,3
Sazonal 5	0,22	1,4	0,02	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sazonal 6	0	0,0	6,39	41,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sazonal 7	0	0,0	8,34	53,8	0	0,0	0,01	0,1	0	0,0	0	0,0
Sazonal 8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sazonal 9	0,04	0,3	0	0,0	0	0,0	0,14	0,9	0	0,0	0	0,0
Sazonal 10	0	0,0	5,78	37,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sazonal 11	8,26	53,3	0,05	0,3	0	0,0	1,07	6,9	0	0,0	0	0,0
Sazonal 12	52,36	337,8	167,74	1082,3	0	0,0	0,18	1,2	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>578</b>	<b>3739</b>	<b>385</b>	<b>2497</b>	<b>1052</b>	<b>6797</b>	<b>1083</b>	<b>6997</b>	<b>1022</b>	<b>6607</b>	<b>1060</b>	<b>6852</b>

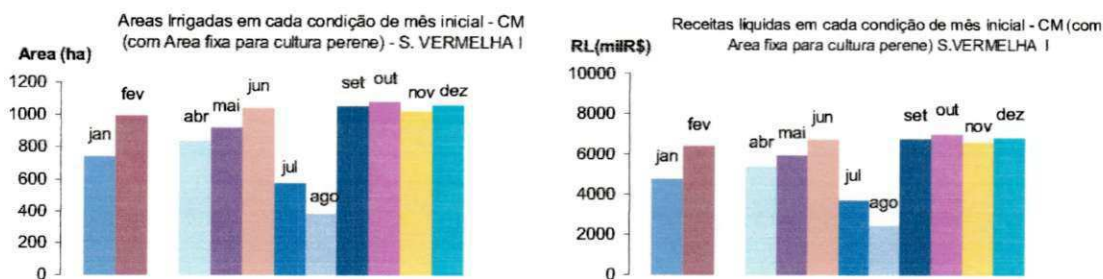


Figura 7.29 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.33 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - OUTUBRO						
Vini = 3,94 hm³, Vmax = 11,80, Vmini = 1,18 hm³						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm³)	VOL. EVAP. (hm³)	VOL. VERT. (hm³)	VAZ. IRRIG. (hm³)	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)
OUT	3,59	0,186	0,0	0,08	0,0	0,07
NOV	3,28	0,169	0,0	0,075	0,002	0,06
DEZ	3,02	0,156	0,0	0,067	0,008	0,06
JAN	2,54	0,123	0,0	0,392	0,375	0,67
FEV	2,58	0,098	0,0	0,177	1,02	1,09
MAR	3,47	0,112	0,0	0	1,53	1,36
ABR	4,51	0,118	0,0	0,241	0,948	1,13
MAI	4,78	0,123	0,0	0,441	0,11	0,44
JUN	4,79	0,123	0,0	0,069	0,005	0,06
JUL	4,57	0,144	0,0	0,053	0,0	0,04
AGO	4,26	0,170	0,0	0,065	0,0	0,05
SET	3,94	0,178	0,0	0,072	0,0	0,06
<b>MÉDIA</b>	<b>3,78</b>	<b>0,14</b>	<b>0,00</b>	<b>0,14</b>	<b>0,33</b>	<b>0,42</b>

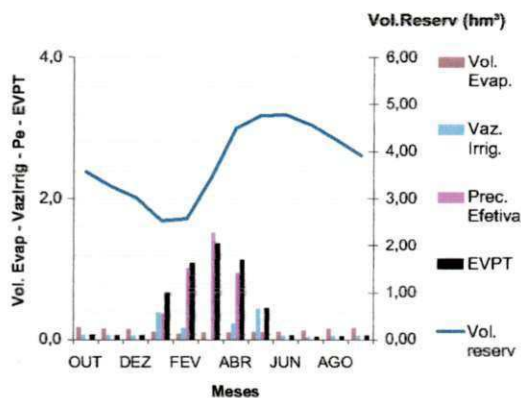


Figura 7.30 – Resultados operacionais – Mês de inicio - OUT

## 7.2.2.4 – Para o açude PIRANHAS

Com relação ao açude Piranhas, tanto para o cenário agrícola CA1 como para este, o CA3, o modelo encontrou o mesmo mês como melhor condição de mês inicial do processo, que foi o mês de agosto.

No entanto, para esse cenário, com se verifica na Tabela 7.34, como o modelo fica obrigado a garantir a área imposta à cultura perene, ele quase não aloca área para as culturas sazonais 3, 4 e 5 que são plantadas entre os meses de abril e agosto, como acontece no cenário CA1.

Portanto, neste cenário, o modelo distribui áreas para as culturas sazonais 9, 11 e 12, que são plantadas nos meses seguintes àquele do início do processo e as sazonais 1 e 2, plantadas entre janeiro e maio.

Na Tabela 7.35, os resultados operacionais demonstram o uso da água para estes resultados, ou seja, o reservatório vai liberando água logo após o início do processo de otimização, e vai até o mês de fevereiro. A partir daí, com o início do período chuvoso, o reservatório não precisa liberar tanta água para irrigar as culturas sazonais 1 e 2, já que estas são plantadas nos meses em que a precipitação efetiva é considerável e, portanto, permitindo que o reservatório armazene água para chegar ao fim do período com o volume necessário para satisfazer a condição da sustentabilidade hídrica.

Tabela 7.34 - Áreas irrigadas e receitas líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - PIRANHAS

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jun		lev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	94	630,2	94	629,8	94	629,9	94	629,5	94	629,8	94	629,8
Sazonal 1	506,36	3267,1	62,77	405,0	178,69	1153,0	635,36	4099,5	463,03	2987,6	780,54	5036,2
Sazonal 2	589,54	3803,9	150,22	969,2	207,75	1340,5	490,66	3165,8	225,07	1452,2	899,31	5802,5
Sazonal 3	469,38	3028,6	288,48	1861,3	191,96	1238,5	69,11	445,9	172,93	1115,8	329,9	2128,6
Sazonal 4	349,8	2257,0	84,06	542,4	185,06	1194,1	625,02	4032,7	145,11	936,3	153,91	993,0
Sazonal 5	118,56	765,0	70,07	452,1	96,5	622,7	1,29	8,3	56,12	362,1	215,69	1391,7
Sazonal 6	0,09	0,6	1,77	11,4	39,57	255,3	4,08	26,3	300,53	1939,1	79,22	511,2
Sazonal 7	1,6	10,3	120,44	777,1	115,71	746,6	53,82	347,2	19,06	123,0	0	0,0
Sazonal 8	0,43	2,8	26,3	169,7	104,71	675,6	146,99	948,4	0	0,0	14,97	96,6
Sazonal 9	4,89	31,5	22,34	144,1	108,7	701,4	2,75	17,7	50,95	328,7	3,81	24,6
Sazonal 10	1,64	10,6	9,89	63,8	111,74	721,0	12,2	78,7	112,98	729,0	0,76	4,9
Sazonal 11	2,17	14,0	54,73	353,1	139,64	901,0	97,68	630,2	100,01	645,3	99,77	643,7
Sazonal 12	653,37	4215,7	172,33	1111,9	160,22	1033,7	297,6	1920,2	371,34	2396,0	451,4	2912,6
Total	2792	18037	1157	7491	1734	11213	2531	16351	2111	13645	3123	20175

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	94	629,5	94	629,5	94	629,6	94	629,8	94	629,7	94	629,5
Sazonal 1	110,75	714,6	851,59	5494,7	611,67	3946,6	436,46	2816,2	796,98	11594,0	36,52	235,6
Sazonal 2	246,74	8044,2	833,96	11833,1	281,68	1817,4	66	425,9	3,09	19,9	4,22	27,2
Sazonal 3	167,46	1080,5	1,32	8,5	517,92	3341,7	263,68	1701,3	13,39	86,4	997,63	6436,9
Sazonal 4	178,04	1148,7	0,53	3,4	123,7	798,1	174,89	1128,4	21,88	141,2	8,47	54,7
Sazonal 5	221,01	1426,0	0,19	1,3	28,39	183,2	0,15	1,0	0,25	1,6	0,51	42,0
Sazonal 6	160,56	1036,0	0,05	0,3	7,63	49,3	72,04	464,8	0,13	0,8	8,76	56,6
Sazonal 7	109,9	709,1	0,09	0,6	0,07	0,5	0	0,0	46,92	302,8	141,13	910,6
Sazonal 8	27,72	178,8	0	0,0	95,76	617,9	49,33	318,3	0,36	2,4	30,89	199,3
Sazonal 9	71,38	460,6	136,65	881,7	0	0,0	171,06	1103,7	0,4	2,6	0,16	1,1
Sazonal 10	15,14	97,7	0,03	0,2	0,01	0,1	77,19	498,1	1	6,5	12,89	83,2
Sazonal 11	27,12	175,0	238,18	1536,8	20,74	133,8	206,11	1329,9	1,05	6,8	0	0,0
Sazonal 12	145,79	940,6	432,62	2791,3	851,94	5496,9	362,08	1691,0	21,28	137,2	666,52	4300,6
Total	1576	16641	2589	23181	2634	17015	1873	12108	1001	12932	2008	12977

Condição de melhor Receita líquida Total



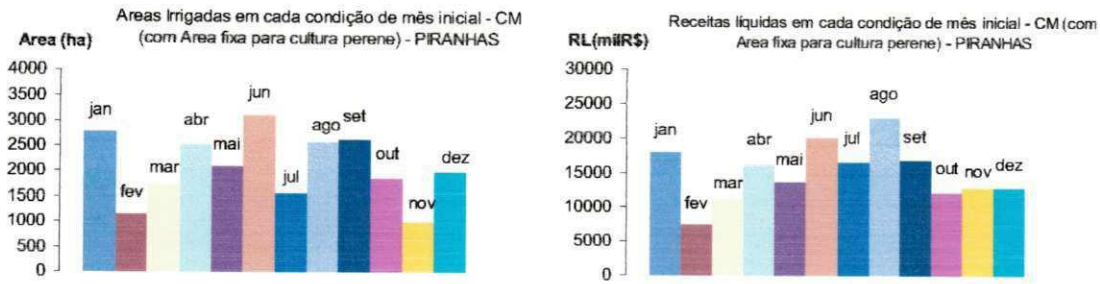


Figura 7.31 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.35 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - AGOSTO						
Vini = 20,88 hm <sup>3</sup> , Vmax =25,69 , Vmini = 2,569 hm <sup>3</sup>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
AGO	20,21	0,428	0,0	0,23	0	0,18
SET	19,18	0,459	0,0	0,57	0	0,44
OUT	17,88	0,491	0,0	0,80	0	0,61
NOV	15,97	0,442	0,0	1,48	0	1,12
DEZ	13,37	0,39	0,0	2,30	0,23	1,96
JAN	10,75	0,303	0,0	2,59	1,29	3,23
FEV	10,51	0,237	0,0	1,18	4,78	5,41
MAR	13,94	0,263	0,0	0,60	5,54	5,91
ABR	19,52	0,282	0,0	1,04	4,26	4,93
MAI	20,32	0,289	0,0	3	0,84	2,78
JUN	21,12	0,294	0,0	0,131	0,02	0,12
JUL	20,88	0,352	0,0	0,176	0,01	0,15
MÉDIA	16,97	0,35	0,00	1,14	1,41	2,24

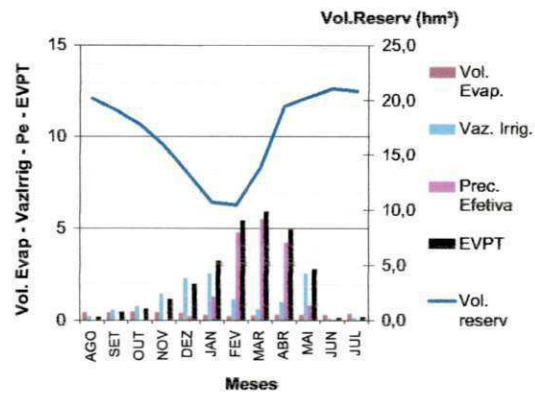


Figura 7.32 – Resultados operacionais – Mês início - AGO

7.2.2.5 – Para o açude VIDÉO

Vê-se que para esse açude, no cenário CA1, que o modelo não encontrou solução tendo como mês inicial o mês de setembro. Já, nesse cenário, ele não encontra solução viável quando se inicia o processo nos meses de janeiro, julho e dezembro.

O interessante é que a melhor condição de mês inicial para este cenário (CA3), foi justamente o mês de setembro, mês no qual não foi encontrada solução no cenário anterior (CA1).

Pra essa solução, o reservatório se comporta de maneira semelhante aos outros. Ou seja, para garantir a condição de sustentabilidade hídrica e evitar altas perdas evaporativas, já que este é o menor reservatório entre os outros, o modelo libera água para as primeiras culturas sazonais, logo depois de atender a demanda hídrica imposta para irrigação dos 54 ha da cultura perene. A cultura plantada foi sazonal 1, irrigando um total de 291 ha para essa cultura.



Tabela 7.36 - Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - VIDEO

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	-	-	54	361,6	54	361,6	54	361,6	54	361,6	54	361,6
Sazonal 1	-	-	52,39	338,0	105,77	682,4	74,07	478,0	3,65	23,6	27,64	178,3
Sazonal 2	-	-	86,82	560,2	0,34	2,2	0,03	0,2	3,65	23,6	21,6	139,4
Sazonal 3	-	-	0,98	6,3	0	0,0	0,01	0,0	3,65	23,6	17,29	111,5
Sazonal 4	-	-	0,04	0,3	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	6,95	44,9
Sazonal 5	-	-	1,92	12,4	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	0,02	0,1
Sazonal 6	-	-	0,01	0,1	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	0,01	0,0
Sazonal 7	-	-	1,36	8,8	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	1,47	9,5
Sazonal 8	-	-	0,03	0,2	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	0,22	1,4
Sazonal 9	-	-	1,15	7,4	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	0	0,0
Sazonal 10	-	-	0,05	0,4	0	0,0	0,01	0,1	3,65	23,6	0,03	0,2
Sazonal 11	-	-	0,69	4,5	0	0,0	0	0,0	3,65	23,6	0,29	1,9
Sazonal 12	-	-	1,26	8,2	0,01	0,0	0	0,0	3,65	23,6	15,09	97,4
<b>Total</b>			<b>201</b>	<b>1308</b>	<b>160</b>	<b>1046</b>	<b>128</b>	<b>840</b>	<b>98</b>	<b>644</b>	<b>145</b>	<b>946</b>

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)	Area	RL (milR\$)
Perene	-	-	54	361,6	54	361,6	54	361,6	54	361,6	-	-
Sazonal 1	-	-	1,16	7,5	291,93	1883,6	281,49	1816,3	254,47	1641,9	-	-
Sazonal 2	-	-	0,04	0,2	0,01	0,1	0	0,0	2,12	13,7	-	-
Sazonal 3	-	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,36	2,3	-	-
Sazonal 4	-	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1,18	7,6	-	-
Sazonal 5	-	-	0,01	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	-
Sazonal 6	-	-	4,16	26,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	-
Sazonal 7	-	-	0,05	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	-
Sazonal 8	-	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	-
Sazonal 9	-	-	0,55	3,5	0	0,0	0	0,0	0,01	0,1	-	-
Sazonal 10	-	-	8,22	53,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	-
Sazonal 11	-	-	0,01	0,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	-
Sazonal 12	-	-	52,66	339,8	0	0,0	0	0,0	0,55	3,5	-	-
<b>Total</b>			<b>121</b>	<b>793</b>	<b>346</b>	<b>2245</b>	<b>335</b>	<b>2178</b>	<b>313</b>	<b>2031</b>		

Condição de melhor Receita líquida Total

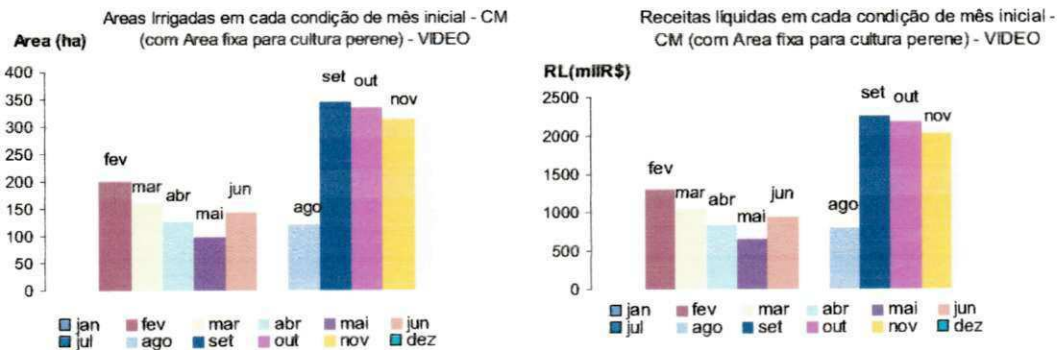


Figura 7.33 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.37 - Resultados operacionais do sistema

MÊS	Melhor Condição de Mês Inicial - SETEMBRO					
	Vini = 3,28 hm <sup>3</sup> , Vmax = 6,04, Vmini = 0,604 hm <sup>3</sup>					
	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
SET	3,02	0,169	0,0	0,090	0,00	0,073
OUT	2,77	0,178	0,0	0,061	0,031	0,081
NOV	2,52	0,161	0,0	0,096	0,000	0,078
DEZ	2,34	0,15	0,0	0,049	0,036	0,076
JAN	2,29	0,13	0,0	0,00	0,443	0,361
FEV	1,91	0,092	0,0	0,494	0,025	0,399
MAR	2,48	0,102	0,0	0,00	0,558	0,458
ABR	3,33	0,109	0,0	0,00	0,753	0,314
MAI	3,64	0,116	0,0	0,051	0,003	0,045
JUN	3,66	0,116	0,0	0,052	0,001	0,044
JUL	3,53	0,136	0,0	0,066	0,00	0,054
AGO	3,28	0,161	0,0	0,082	0,00	0,066
<b>MÉDIA</b>	<b>2,90</b>	<b>0,14</b>	<b>0,00</b>	<b>0,09</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>

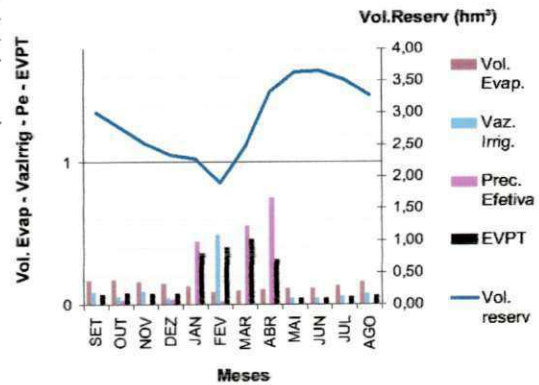


Figura 7.34 – Resultados operacionais – Mês de início - SET

## 7.2.2.6 – Para o açude VAZANTE

Nesse cenário, vê-se, pela Tabela 7.38, que a melhor condição para iniciar o processo para este reservatório é o mês de novembro, mês anterior àquele do cenário CA1 que foi o mês de Dezembro.

Ainda pela Tabela 7.38, verifica-se que o modelo, depois de irrigar a área da cultura perene, distribui bem a água do reservatório para irrigar as culturas sazonais.

Da mesma forma que o cenário anterior, a sazonal 3 foi a que obteve maior área seguido da sazonal 2 e 4. A área total alocada por culturas foi de mais de 3700ha gerando com isso uma receita líquida total em torno de R\$ 24.000 mil.

Com relação à operação do reservatório, o mesmo se comporta praticamente da mesma forma da maioria dos outros reservatórios, ou seja, liberando muita água nos meses logo após o início do processo e armazenando no período chuvoso, de forma a atender a sustentabilidade do reservatório.

E, finalmente, como ocorre em outros reservatórios, no período chuvoso, mais precisamente entre os meses de fevereiro e abril, o reservatório não precisa retirar tanta água para irrigação, haja vista a considerável precipitação efetiva na área irrigada, permitindo assim que o reservatório armazene água para chegar ao fim do período com um volume igual ou superior ao seu volume inicial. Essa condição é satisfeita, pois o reservatório termina o processo com 4,18 hm<sup>3</sup>, que é igual ao seu volume inicial.

Tabela 7.38- Áreas irrigadas e receitas Líquidas por cultura para cada condição de mês inicial - Cenário Médio (com área fixa das culturas perenes do Cenário seco) - VAZANTE

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	jan		fev		mar		abr		mai		jun	
	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)
Perene	19	128	19	128	19	127,41	19	127,34	19	127,24	19	127,24
Sazonal 1	382,04	2465	8,67	56	89,22	575,69	130,83	844,17	185,72	1198,28	66,39	428,39
Sazonal 2	155,65	1004	41,3	267	84,19	543,19	135,18	872,24	256,62	1655,79	71,83	463,45
Sazonal 3	371,9	2400	44,2	285	1068,16	6891,99	171,63	1107,42	236,92	1528,66	46,65	300,97
Sazonal 4	133,05	858	44,21	285	997,46	6435,79	164,78	1063,21	542,1	3497,74	37,25	240,33
Sazonal 5	3,57	23	23,86	154	20,64	133,18	120,18	775,44	868,16	5601,53	34,7	223,91
Sazonal 6	18,2	117	8,79	57	7,5	48,38	129,57	836,01	2,4	15,46	178,15	1149,45
Sazonal 7	9,99	64	8,71	56	0,92	5,93	137,08	884,44	42,03	271,21	160,09	1032,96
Sazonal 8	0,02	0	8,71	56	5,18	33,43	126,93	818,97	22,97	148,23	119,8	772,96
Sazonal 9	0	0	8,71	56	6,32	40,75	122,58	790,93	9,24	59,6	112,91	728,54
Sazonal 10	262,24	1692	8,71	56	21,86	141,06	135,77	876,04	42,34	273,17	120,03	774,44
Sazonal 11	20,89	135	8,71	56	3,05	19,71	134,99	870,98	143,93	928,69	50,64	326,73
Sazonal 12	287,47	1855	23,74	153	29,98	193,41	139,88	902,52	154,63	997,73	60,38	389,56
Total	1664	10742	257	1665	2354	15190	1668	10770	2526	16303	1078	6959

cultura	CONDIÇÃO DE MÊS INICIAL											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)	Área	RL (milR\$)
Perene	19	127,57	19	127,57	19	127,24	19	127,24	19	127,24	19	127,24
Sazonal 1	24,7	159,4	604,45	3900,06	168,99	1090,35	146,1	942,7	307,98	1987,18	151,79	979,35
Sazonal 2	44,17	285	36,49	235,41	701,81	4528,23	697,32	4499,26	755,99	4877,79	696,23	4492,24
Sazonal 3	66,71	430,45	516,11	3330,08	1087,73	7018,29	1085,06	7001,06	1336,28	8621,98	1090,22	7034,35
Sazonal 4	65,86	424,94	508,75	3282,57	314,71	2030,58	310,48	2003,3	370,62	2391,29	312,47	2016,13
Sazonal 5	399,92	2580,35	493,62	3184,97	151,59	978,07	148,68	959,29	102,23	659,6	154,14	994,53
Sazonal 6	146,74	946,78	101,85	657,19	183,84	1186,18	196,37	1267,05	29,11	187,86	211,52	1364,77
Sazonal 7	20,44	131,87	6,51	42,02	48,96	315,93	36,62	236,26	25,26	162,98	0	0
Sazonal 8	56,61	365,29	47,92	309,22	47,16	304,27	62	400,01	115,43	744,78	11,31	72,97
Sazonal 9	12,98	83,78	1,78	11,51	32,82	211,79	47,69	307,72	34,45	222,25	93,93	606,05
Sazonal 10	240,61	1552,49	0	0	48,46	312,65	41,28	266,32	115,11	742,74	58,62	378,24
Sazonal 11	90,48	583,79	110,95	715,87	31,56	203,62	33,53	216,35	116,76	753,39	51,18	330,23
Sazonal 12	232,25	1498,52	504,88	3257,57	382,52	2468,12	385,87	2489,72	410,25	2647,01	393,85	2541,19
Total	1421	9170	2952	19054	3219	20775	3210	20716	3738	24126	3244	20937

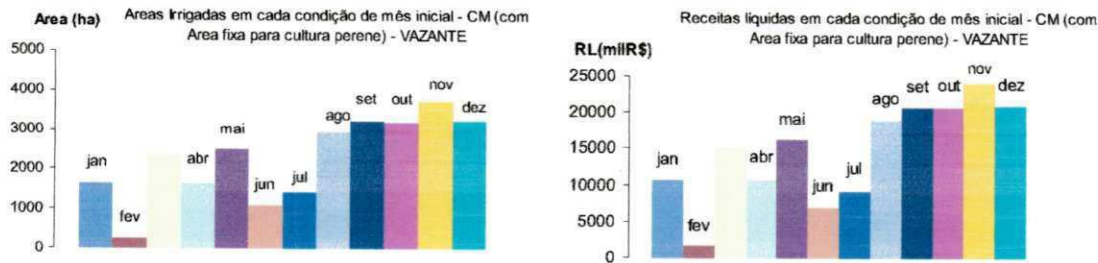


Figura 7.35 – Áreas irrigadas e receitas líquidas

Tabela 7.39 - Resultados operacionais do sistema

Melhor Condição de Mês Inicial - DEZEMBRO						
Vini = 4,26 hm <sup>3</sup> , Vmax = 9,09, Vmini = 0,909 hm <sup>3</sup>						
MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (hm <sup>3</sup> )	VOL. VERT. (hm <sup>3</sup> )	VAZ. IRRIG. (hm <sup>3</sup> )	PREC. EFET. (hm <sup>3</sup> )	EVPT. (hm <sup>3</sup> )
DEZ	3,32	0,14	0,0	0,80	0,03	0,63
JAN	2,04	0,09	0,0	1,20	0,10	1,00
FEV	0,91	0,04	0,0	1,13	0,48	1,33
MAR	0,91	0,03	0,0	0,53	1,36	1,72
ABR	4,09	0,10	0,0	0,00	4,03	2,73
MAI	8,85	0,17	0,0	0,02	3,43	2,84
JUN	9,01	0,17	0,0	2,55	0,93	2,83
JUL	7,98	0,16	0,0	2,02	0,32	1,83
AGO	7,32	0,18	0,0	0,84	0,01	0,64
SET	6,65	0,20	0,0	0,50	0,00	0,37
OUT	5,96	0,21	0,0	0,47	0,00	0,35
NOV	5,04	0,20	0,0	0,72	0,00	0,54
MÉDIA	5,17	0,14	0,00	0,90	0,89	1,40

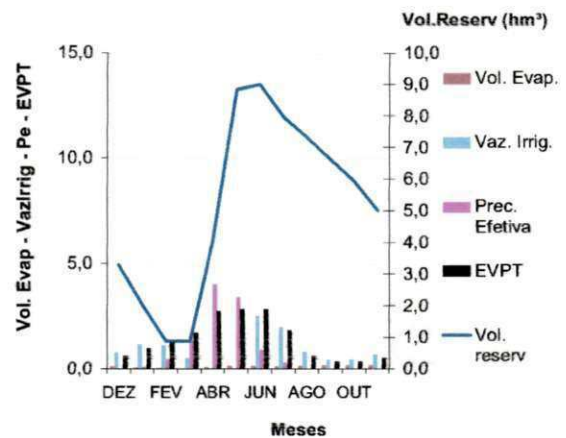


Figura 7.36 – Resultados operacionais – Mês de início - DEZ

### 7.3. RESULTADOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO E INDICADORES DE DESEMPENHO DOS RESERVATÓRIOS;

Como já mencionado no Capítulo IV, os resultados que seriam encontrados no modelo de otimização seriam tidos como dados de entrada para o modelo de simulação, dados esses referentes às demandas ótimas encontradas para irrigação referentes a cada reservatório estudado.

Com isso, utilizou-se para cada reservatório, o modelo de simulação (Acquanet) para a série de 53 anos de influxos à cada reservatórios, a fim de verificar o comportamento de cada um deles em atender àquelas demandas hídricas encontradas na otimização.

Escolheram-se para a simulação, as demandas ótimas obtidas do cenário hidrológico médio referente ao cenário agrícola CA3, onde se fixaram as áreas das culturas perenes do cenário



hidrológico Seco e otimizaram-se as demandas para as culturas sazonais. Essa foi a política escolhida pelo fato de ser tecnicamente viável, pois em casos de ocorrência de anos críticos de seca, ao longo da série de 53 anos utilizada, será garantida a necessidade hídrica das culturas perenes já que estas são permanentes ao longo dos anos e por vários anos.

Portanto, o cenário hidrológico médio, referente ao cenário agrícola CA3, foi o cenário padrão escolhido para o cálculo de todos os indicadores que serão apresentados daqui pra frente, sejam de desempenho dos reservatórios, de desempenho de áreas irrigada, de sustentabilidade e vulnerabilidades das bacias de contribuição dos reservatórios.

Dentre os resultados da simulação, tem-se na Tabela 7.40 os estados em que cada reservatório se manteve durante os meses do período de simulação.

Tabela 7.40 - Resultados da simulação para cada reservatório

Reservatório	$M_S$	$M_F$	$M_{F-S}$	Déficit Hídrico total (hm <sup>3</sup> )
Condado	289	347	104	79,1
Santa Inês	251	385	107	133,7
S. Vermelha I	513	123	69	26,3
Piranhas	538	98	29	109,5
Vidéo	484	152	152	23,7
Vazante	230	406	81	302,6

$M_S$  - Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado satisfatório

$M_F$  - Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado de falha

$M_{F-S}$  - Quantidade de meses que o sistema estando em estado de falha, entra no mês seguinte em estado satisfatório.

Esses estados são definidos como: *Estado satisfatório*, que é aquele onde o reservatório atende completamente suas demandas, e *Estado de falha*, que é aquele onde o reservatório não supre na totalidade as demandas hídricas impostas a ele.

Ainda, na Tabela 7.40, estão mostrados os déficits hídricos totais para todo o período simulado, de cada reservatório que tiveram falhas de atendimento às suas demandas.

Com os resultados da Tabela 7.40 foi possível então calcular os indicadores de desempenho (Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade) de cada reservatório. Os valores desses indicadores estão mostrados na Tabela 7.41.

Segundo a Tabela 7.41, vemos que três dos seis reservatórios atenderam bem suas demandas, o Serra Vermelha I, Piranhas e Vidéo, os quais obtiveram altos valores da confiabilidade.

Com relação ao açude Vidéo, vê-se que o mesmo obteve resiliência de 100%, ou seja, sempre que ocorria falha neste reservatório em um determinado mês do período, no mês seguinte ele se recuperava. Isto também pode ser percebido nos resultados da Tabela 7.40, pois o reservatório obteve o mesmo valor de  $M_F$  e  $M_{F-S}$ .

Tabela 7.41 - Indicadores de Desempenho dos reservatórios

<b>Reservatorio</b>	<b>CONFIABILIDADE</b>	<b>RESILIÊNCIA</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>
Condado	45,4%	29,9%	92,1%
Santa Inês	39,5%	27,8%	91,2%
S. Vermelha I	80,6%	56,1%	78,4%
Piranhas	84,6%	29,6%	75,3%
Vidéo	76,1%	100%	94,6%
Vazante	36,2%	19,9%	89,1%

No entanto, os três reservatórios, Condado, Santa Inês e Vazante não obtiveram um bom indicador de Confiabilidade, ou seja, na maioria dos meses da simulação, esses reservatórios não conseguem atender suas demandas. E pelos baixos indicadores de resiliência apresentados, nota-se que os mesmos demoram muito para se recuperar quando entram em estado de falha, já que este indicador representa o quão rapidamente um reservatório retorna de uma falha caso esta tenha ocorrido. Caso se queira saber o tempo que cada reservatório permaneceu em estado de falha, toma-se o inverso do valor obtido para a resiliência de cada um deles e tem-se esse resultado.

Com relação aos valores das vulnerabilidades de cada reservatório, vemos que todos eles apresentam altos índices. Tais resultados, no entanto, salientam a característica climática de regiões semi-áridas, ou seja, quando ocorrem anos de seca, a sua vulnerabilidade é bastante alta e a resiliência é baixa.

Portanto, analisando-se os resultados apresentados dos indicadores dos reservatórios, é possível avaliar que um diagnóstico com base em apenas um indicador, por exemplo, a confiabilidade, não reflete fielmente a situação real do sistema, principalmente em regiões semi-áridas. Por exemplo, não se pode julgar as condições do açude Piranhas como boas, tomando-se por base apenas a sua confiabilidade, que obteve um bom resultado, aproximadamente 85%. No entanto, verificando-se a sua resiliência, observa-se que o reservatório obteve um baixo valor, indicando que o mesmo demora muito a se recuperar de uma falha, ou seja, ele permanece em média, mais de 3 meses em situação de falha. Quando estas ocorrem, são bastante severas, como indica o valor da vulnerabilidade, a qual mostra que, em média, o déficit em relação ao valor demandado foi em torno de 75%. Portanto, um indicador por si só, por mais que obtenha um valor numérico satisfatório, não traduz fielmente as condições reais de um sistema, que neste caso é um reservatório de acumulação. Tais condições devem ser avaliadas em paralelo, numa análise conjunta com outros indicadores.

Mesmo em condições otimizadas, como o caso deste trabalho, devido às variabilidades hidroclimáticas das regiões semi-áridas e dependendo do porte e dos objetivos de usos do reservatório, muitas vezes é preferível que o reservatório falhe mais, ou seja, tenha menos

confiabilidade e, no entanto, se recupere dessas falhas com mais facilidade (rapidez), ou seja, que o mesmo seja mais resiliente e que tenha baixa vulnerabilidade. Portanto, um indicador, por melhor que ele pareça ser não traduz a natureza real intrínseca a que está submetido o sistema, devendo ser analisado sob uma ótica mais abrangente.

#### 7.4. RESULTADOS DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E VULNERABILIDADE DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS;

Também, como um dos objetivos da pesquisa, foram determinados os principais Indicadores de Sustentabilidade e Vulnerabilidade das bacias de contribuição de cada reservatório estudado, o IAP, Índice de Ativação da Potencialidade, IUD, Índice de Utilização da Disponibilidade e IUP, Índice de Utilização da Potencialidade. Na Tabela 7.42, estão mostrados as disponibilidades das bacias de contribuição de cada reservatório em diferentes garantias e suas respectivas potencialidades.

Tabela 7.42 - Disponibilidades e Potencialidades das bacias de contribuição dos reservatórios

Bacia ou Região Hidrográfica	sub -bacia do Açude	Disponibilidade em (l/s)				Potencialidades (m³/s)
		100%	95%	90%	85%	
<i>Piancó</i>	Santa Inês	67,16	116,28	148,7	167,07	0,2224
	Condado	87,25	144,1	185,18	207,15	0,2866
	Serra Vermelha	33,18	67,01	83,64	96,17	0,1306
	Piranhas	117,74	178,85	218,99	267,07	0,5305
	Vazante	59,19	109,13	136,98	168,12	0,4347
	Vídeo	5,85	16,7	24,15	31,49	0,0744

FONTE: LMRS/PB

Tabela 7.43 - Demandas de abastecimento e de irrigação dos reservatórios

Reservatórios	Demandas Abast. em m³/s	Demandas médias anuais para irrigação* m³/s	Total
Condado	0	0,164	<b>0,164</b>
Santa Inês	0	0,152	<b>0,152</b>
Serra vermelha	0,0029	0,056	<b>0,0589</b>
Piranhas	0,007	0,44	<b>0,447</b>
Vídeo	0	0,034	<b>0,034</b>
Vazante	0	0,317	<b>0,317</b>

\* vazões médias anuais de irrigação otimizadas do melhor cenário médio

Na Tabela 7.43, estão mostrados, para cada reservatório, os valores das suas respectivas demandas otimizadas para irrigação obtida do cenário padrão escolhido.

Na Tabela 7.44 e na Figura 7.37, os valores dos Índices de Utilização da Disponibilidade (IUD) e dos Índices de Utilização da Potencialidade das Bacias desses reservatórios são



apresentados, antes e depois das otimizações dos seus recursos hídricos. Nessa mesma tabela, encontram-se, também, os valores dos Índices de Ativação das Potencialidades (IAP) de cada bacia de contribuição.

Na Tabela 7.45 estão mostrados a capacidade máxima de cada reservatório, o volume médio anual escoado e os respectivos usos consutivos para cada um deles. Com esses valores, foi possível determinar os principais indicadores de Vulnerabilidade das bacias de contribuição de cada reservatório, propostos por Vieira (1996). Os resultados estão na Tabela 7.46.

Tabela 7.44 - Indicadores de Sustentabilidade das Bacias de Contribuição dos Reservatórios

	Antes das otimizações			Depois das otimizações		
	IAP	IUD	IUP	IAP	IUD	IUP
<b>G = 100%</b>						
Condado	0,30	0,00	0,00	0,30	1,88	0,57
Santa Inês	0,30	0,00	0,00	0,30	2,26	0,68
Serra vermelha I	0,25	0,09	0,02	0,25	1,78	0,45
Piranhas	0,22	0,06	0,01	0,22	3,80	0,84
Video	0,08	0,00	0,00	0,08	5,81	0,46
Vazante	0,14	0,00	0,00	0,14	5,36	0,73
<b>G = 95%</b>						
Condado	0,50	0,00	0,00	0,50	1,14	0,57
Santa Inês	0,52	0,00	0,00	0,52	1,31	0,68
Serra vermelha I	0,51	0,04	0,02	0,51	0,88	0,45
Piranhas	0,34	0,04	0,01	0,34	2,50	0,84
Video	0,22	0,00	0,00	0,22	2,04	0,46
Vazante	0,25	0,00	0,00	0,25	2,90	0,73
<b>G = 90%</b>						
Condado	0,65	0,00	0,00	0,65	0,89	0,57
Santa Inês	0,67	0,00	0,00	0,67	1,02	0,68
Serra vermelha I	0,64	0,03	0,02	0,64	0,70	0,45
Piranhas	0,41	0,03	0,01	0,41	2,04	0,84
Video	0,32	0,00	0,00	0,32	1,41	0,46
Vazante	0,32	0,00	0,00	0,32	2,31	0,73
<b>G = 85%</b>						
Condado	0,72	0,00	0,00	0,72	0,79	0,57
Santa Inês	0,75	0,00	0,00	0,75	0,91	0,68
Serra vermelha I	0,74	0,03	0,02	0,74	0,61	0,45
Piranhas	0,50	0,03	0,01	0,50	1,67	0,84
Video	0,42	0,00	0,00	0,42	1,08	0,46
Vazante	0,39	0,00	0,00	0,39	1,89	0,73

OBS. G= garantia

Analisando os resultados da Tabela 7.44, vê-se que os alguns valores dos IUD's depois das otimizações são maiores que a unidade, principalmente para a bacia do açude Video, que obteve valor de IUD maior do que 5 para garantia de 100% de disponibilidade. Fato este que não poderia ocorrer, pois estes valores indicariam que a demanda atendida da bacia é maior que sua disponibilidade.

A demanda utilizada para o cálculo dos IUD's das bacias foram as demandas ótimas obtidas nas otimizações e as disponibilidades utilizadas foram àquelas da Tabela 7.42, obtidas junto ao LMRS-PB. Então, provavelmente, o que pode ter contribuído para esses valores irrealis de IUD's são o seguinte: 1) Os dados de disponibilidades podem ter sido calculados a partir de vazões regularizadas, a partir de curvas de garantia e, 2) As séries fluviométricas utilizadas pelo LMRS-PB provavelmente foram diferentes das séries fluviométricas utilizadas neste trabalho para o cálculo das demandas.

Tabela 7.45 - Referentes aos reservatórios

	Cap. Máxima (S) (hm <sup>3</sup> )	Vol.médio anual escoado (Q) (hm <sup>3</sup> )	Uso Consutivo (D)* (hm <sup>3</sup> )
Condado	35,02	106,3	5,04
Santa Inês	26,12	84,8	4,68
S. Verm I	11,80	47,3	2,59**
Piranhas	25,60	200,9	13,90**
Video	6,04	26,2	1,08
Vazante	9,09	177,7	9,84

\* vazões médias anuais de irrigação encontradas no Cenário hidrológico médio referentes ao cenário agrícola (CA3)

\*\* Estão adicionadas as demandas de abastecimento urbano

Tabela 7.46 - Indicadores de Vulnerabilidade das Bacias de Contribuição dos reservatórios

Sub-Bacia	Relação S/Q	Relação D/Q	Relação Qmin/Qmax
Condado	3,95	0,57	0,0
Santa Inês	3,70	0,66	0,0
S. Verm I	2,99	0,66	0,0
Piranhas	1,42	0,77	0,0
Video	2,57	0,46	0,0
Vazante	0,61	0,66	0,0

## 7.5. RESULTADOS DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DAS ÁREAS IRRIGADAS PELAS ÁGUAS DOS RESERVATÓRIOS

Finalmente, analisou-se o desempenho potencial das áreas irrigadas por cada reservatório de reservatórios estudados, caso as irrigações fossem implantadas de acordo com os dados gerados pelo melhor caso do cenário médio.

Como já mencionado no Capítulo II, esses indicadores são o Fornecimento Relativo de Água (FRA), o Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI), a Razão Global de Consumo (RGC) e o Fornecimento Médio de Água (FMA).

Todos esses indicadores estão apresentados a partir da Tabela 7.48 até a Tabela 58.

Tabela 7.47 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - CONDADO  
(Com área fixa das culturas perenes do cenário Seco - Cenário CA3)

MESES	Área Irrigada (hectare)	Vazão irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Pe (hm <sup>3</sup> /mês)	EVPT (hm <sup>3</sup> /mês)
Jan	131,6	0,11	0,08	0,16
Fev	2718,9	0,02	2,63	2,21
Mar	2739,0	0,00	3,86	3,06
Abr	2734,7	1,29	2,40	3,36
Mai	2708,1	2,50	0,63	2,50
Jun	126,9	0,13	0,01	0,11
Jul	114,5	0,15	0,00	0,12
Ago	109,6	0,18	0,00	0,14
Set	108,4	0,19	0,00	0,15
Out	102,4	0,20	0,00	0,16
Nov	94,6	0,17	0,01	0,14
Dez	103,8	0,16	0,02	0,15
<b>Média</b>	<b>982,69</b>	<b>0,43</b>	<b>0,80</b>	<b>1,02</b>

Tabela 7.48 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário  
Médio -CONDADO

MESES	FRA	FRI	RGC	FMA (hm <sup>3</sup> /ha)
Jan	1,19	1,4	0,73	0,0008
Fev	1,20	0,0	-	0,0000
Mar	1,26	0,0	-	0,0000
Abr	1,10	1,3	0,74	0,0005
Mai	1,25	1,3	0,75	0,0009
Jun	1,27	1,3	0,77	0,0010
Jul	1,25	1,3	0,80	0,0013
Ago	1,29	1,3	0,78	0,0016
Set	1,27	1,3	0,79	0,0018
Out	1,25	1,3	0,80	0,0020
Nov	1,29	1,3	0,76	0,0018
Dez	1,20	1,2	0,81	0,0015
<b>Média</b>	<b>1,23</b>	<b>1,1</b>	<b>0,77</b>	<b>0,0011</b>

Indicadores de Desempenho de Areas irrigadas -  
Melhor Cenário Médio

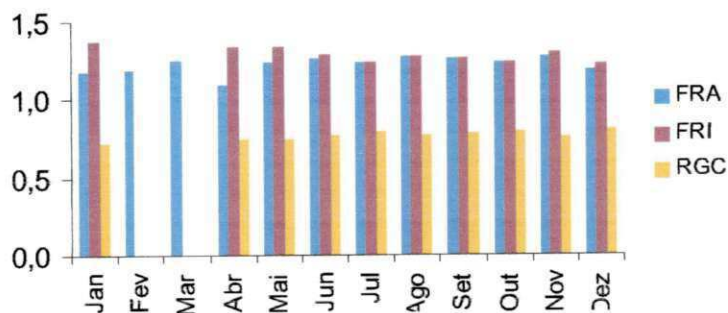


Figura 7.37 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude CONDADO

Tabela 7.49 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - SANTA INÊS  
(Com área fixa das culturas perenes do cenário Seco - Cenário CA3)

MESES	Área Irrigada (hectare)	Vazão irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Pe (hm <sup>3</sup> /mês)	EVPT (hm <sup>3</sup> /mês)
Jan	720,8	0,71	0,41	0,95
Fev	998,0	0,20	0,97	1,06
Mar	998,5	0,00	1,41	1,13
Abr	1000,0	0,20	0,88	1,01
Mai	775,1	0,75	0,18	0,74
Jun	462,9	0,57	0,04	0,46
Jul	300,2	0,49	0,00	0,37
Ago	194,9	0,34	0,00	0,26
Set	76,5	0,13	0,00	0,11
Out	111,5	0,20	0,00	0,16
Nov	273,6	0,45	0,02	0,36
Dez	377,5	0,67	0,07	0,58
<b>Média</b>	<b>524,14</b>	<b>0,39</b>	<b>0,33</b>	<b>0,60</b>

Tabela 7.50 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário  
Médio -SANTA INES

MESES	FRA	FRI	RGC	FMA (hm <sup>3</sup> /ha)
Jan	1,19	1,3	0,75	0,0010
Fev	1,10	2,1	0,48	0,0002
Mar	1,24	0,0	-	0,0000
Abr	1,08	1,6	0,63	0,0002
Mai	1,25	1,3	0,75	0,0010
Jun	1,30	1,3	0,75	0,0012
Jul	1,32	1,3	0,76	0,0016
Ago	1,30	1,3	0,77	0,0017
Set	1,25	1,2	0,80	0,0017
Out	1,27	1,3	0,79	0,0018
Nov	1,29	1,3	0,76	0,0017
Dez	1,28	1,3	0,76	0,0018
<b>Média</b>	<b>1,24</b>	<b>1,3</b>	<b>0,73</b>	<b>0,0012</b>

Indicadores de Desempenho de Areas irrigadas -  
Melhor Cenário Médio

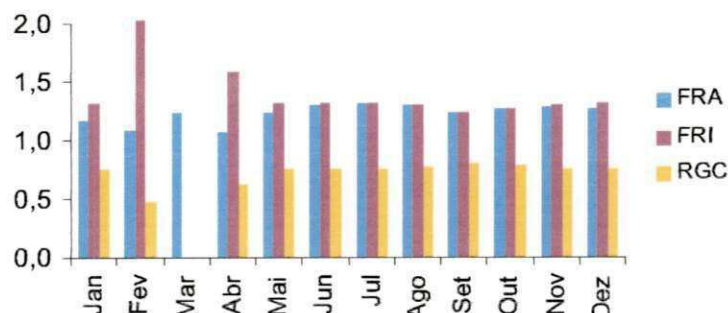


Figura 7.38 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude STa. INÊS

Tabela 7.51 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - S. VERMELHA I  
(Com área fixa das culturas perenes do cenário Seco - Cenário CA3)

MESES	Área Irrigada (hectare)	Vazão irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Pe (hm <sup>3</sup> /mês)	EVPT (hm <sup>3</sup> /mês)
Jan	652,9	0,392	0,375	0,670
Fev	1055,8	0,177	1,02	1,087
Mar	1081,6	0	1,53	1,363
Abr	1081,4	0,241	0,948	1,127
Mai	472,7	0,441	0,11	0,442
Jun	69,8	0,069	0,005	0,060
Jul	43,0	0,053	0,0	0,043
Ago	43,0	0,065	0,0	0,053
Set	43,2	0,072	0,0	0,058
Out	43,2	0,08	0,0	0,065
Nov	44,2	0,075	0,002	0,063
Dez	44,4	0,067	0,008	0,063
<b>Média</b>	<b>389,59</b>	<b>0,14</b>	<b>0,33</b>	<b>0,42</b>

Tabela 7.52 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário  
Médio - SERRA VERMELHA I

MESES	FRA	FRI	RGC	FMA (hm <sup>3</sup> /há)
Jan	1,14	1,3	0,75	0,0006
Fev	1,10	2,7	0,37	0,0002
Mar	1,12	0,0		0,0000
Abr	1,06	1,3	0,74	0,0002
Mai	1,25	1,3	0,75	0,0009
Jun	1,23	1,3	0,80	0,0010
Jul	1,23	1,2	0,81	0,0012
Ago	1,23	1,2	0,82	0,0015
Set	1,24	1,2	0,81	0,0017
Out	1,23	1,2	0,81	0,0019
Nov	1,22	1,2	0,81	0,0017
Dez	1,19	1,2	0,82	0,0015
<b>Média</b>	<b>1,19</b>	<b>1,3</b>	<b>0,75</b>	<b>0,0010</b>

Indicadores de Desempenho de Areas irrigadas -  
Melhor Cenário Médio

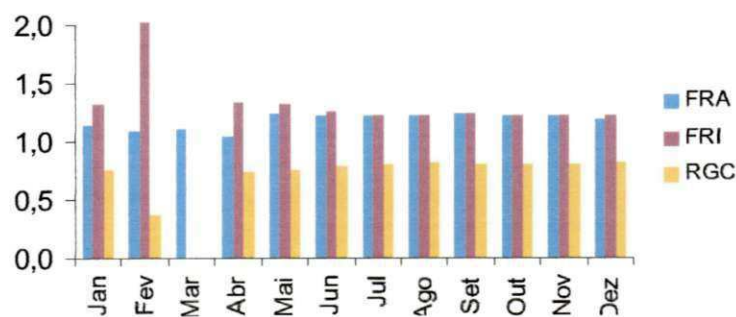


Figura 7.39 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude S. VERMELHA I



Tabela 7.53 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - PIRANHAS  
(Com área fixa das culturas perenes do cenário Seco - Cenário CA3)

MESES	Área Irrigada (hectare)	Vazão irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Pe (hm <sup>3</sup> /mês)	EVPT (hm <sup>3</sup> /mês)
Jan	1616,4	2,59	1,29	3,23
Fev	2450,4	1,18	4,78	5,41
Mar	2213,5	0,60	5,54	5,91
Abr	1781,4	1,04	4,26	4,93
Mai	930,0	3	0,84	2,78
Jun	96,1	0,131	0,02	0,12
Jul	94,9	0,176	0,01	0,15
Ago	94,3	0,23	0	0,18
Set	230,8	0,57	0	0,44
Out	230,8	0,80	0	0,61
Nov	468,9	1,48	0	1,12
Dez	901,5	2,30	0,23	1,96
<b>Média</b>	<b>925,74</b>	<b>1,14</b>	<b>1,41</b>	<b>2,24</b>

Tabela 7.54 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário  
Médio -PIRANHAS

MESES	FRA	FRI	RGC	FMA (hm <sup>3</sup> /há)
Jan	1,20	1,3	0,75	0,0016
Fev	1,10	1,9	0,53	0,0005
Mar	1,04	1,6	0,62	0,0003
Abr	1,07	1,5	0,65	0,0006
Mai	1,23	1,3	0,75	0,0028
Jun	1,20	1,2	0,81	0,0014
Jul	1,22	1,2	0,81	0,0019
Ago	1,24	1,2	0,81	0,0024
Set	1,29	1,3	0,77	0,0024
Out	1,30	1,3	0,77	0,0035
Nov	1,32	1,3	0,76	0,0032
Dez	1,29	1,3	0,75	0,0026
<b>Média</b>	<b>1,21</b>	<b>1,4</b>	<b>0,73</b>	<b>0,0019</b>

Indicadores de Desempenho de Areas irrigadas -  
Melhor Cenário Médio

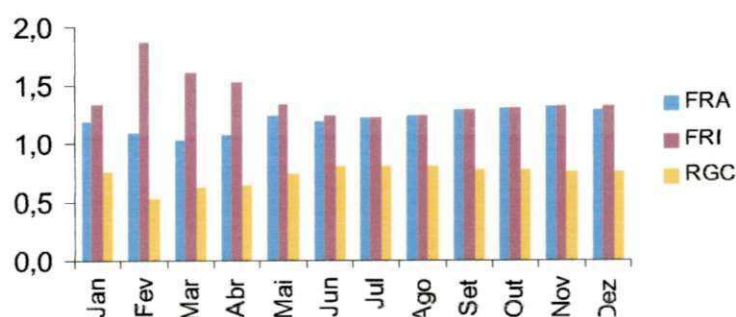


Figura 7.40 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude PIRANHAS



Tabela 7.55 - Resultados da otimização - Melhor cenário médio - VIDÉO  
(Com área fixa das culturas perenes do cenário Seco - Cenário CA3)

MESES	Área Irrigada (hectare)	Vazão irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Pe (hm <sup>3</sup> /mês)	EVPT (hm <sup>3</sup> /mês)
Jan	345,9	0,00	0,443	0,361
Fev	345,9	0,494	0,025	0,399
Mar	345,9	0,00	0,558	0,458
Abr	345,9	0,00	0,753	0,314
Mai	54,0	0,051	0,003	0,045
Jun	54,0	0,052	0,001	0,044
Jul	54,0	0,066	0,00	0,054
Ago	54,0	0,082	0,00	0,066
Set	54,0	0,090	0,00	0,073
Out	54,0	0,061	0,031	0,081
Nov	54,0	0,096	0,000	0,078
Dez	54,0	0,049	0,036	0,076
<b>Média</b>	<b>151,31</b>	<b>0,09</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>

Tabela 7.56 - Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário  
Médio -VIDÉO

MESES	FRA	FRI	RGC	FMA (hm <sup>3</sup> /há)
Jan	1,23	0,0	-	0,0000
Fev	1,30	1,3	0,76	0,0014
Mar	1,22	0,0	-	0,0000
Abr	2,40	0,0	-	0,0000
Mai	1,20	1,2	0,82	0,0009
Jun	1,20	1,2	0,83	0,0010
Jul	1,22	1,2	0,82	0,0012
Ago	1,24	1,2	0,80	0,0015
Set	1,23	1,2	0,81	0,0017
Out	1,14	1,2	0,82	0,0011
Nov	1,23	1,2	0,81	0,0018
Dez	1,12	1,2	0,82	0,0009
<b>Média</b>	<b>1,31</b>	<b>0,9</b>	<b>0,81</b>	<b>0,0010</b>

Indicadores de Desempenho de Areas irrigadas -  
Melhor Cenário Médio

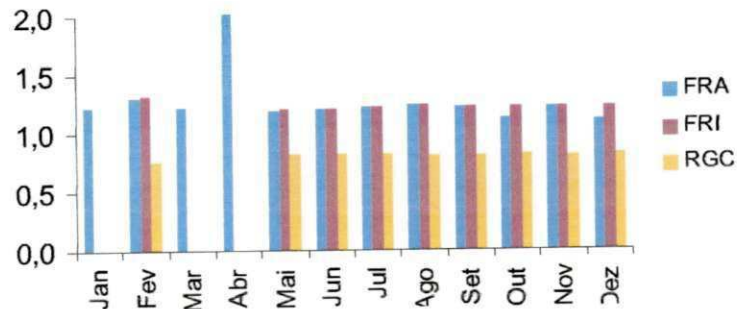


Figura 7.41 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude VIDÉO

Tabela 7.57- Resultados da otimização - Melhor cenário médio - VAZANTE  
(Com área fixa das culturas perenes do cenário Seco - Cenário CA3)

MESES	Área Irrigada (hectare)	Vazão irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Pe (hm <sup>3</sup> /mês)	EVPT (hm <sup>3</sup> /mês)
Jan	674,5	0,81	0,33	0,84
Fev	1312,1	0,42	1,11	0,94
Mar	2351,1	0,00	3,35	1,39
Abr	2269,7	0,02	2,79	2,24
Mai	2272,1	2,19	0,81	2,33
Jun	1787,4	1,88	0,31	2,45
Jul	697,2	1,12	0,01	1,71
Ago	396,0	0,86	0,00	0,85
Set	335,8	0,63	0,00	0,64
Out	182,9	0,40	0,00	0,47
Nov	234,1	0,53	0,02	0,30
Dez	616,6	1,00	0,09	0,41
<b>Média</b>	<b>1094,12</b>	<b>0,82</b>	<b>0,74</b>	<b>1,21</b>

Tabela 7.58- Indicadores de Desempenho das áreas irrigadas - Melhor Cenário  
Médio - VAZANTE

MESES	FRA	FRI	RGC	FMA (hm <sup>3</sup> /há)
Jan	1,37	1,6	0,62	0,0012
Fev	1,62	-	-	0,0003
Mar	2,41	0,0	-	0,0000
Abr	1,25	0,0	-	0,0000
Mai	1,29	1,4	0,69	0,0010
Jun	0,89	0,9	1,14	0,0010
Jul	0,67	0,7	1,51	0,0016
Ago	1,00	1,0	1,00	0,0022
Set	0,98	1,0	1,02	0,0019
Out	0,85	0,8	1,18	0,0022
Nov	1,83	1,9	0,53	0,0023
Dez	2,64	3,1	0,32	0,0016
<b>Média</b>	<b>1,40</b>	<b>1,1</b>	<b>0,89</b>	<b>0,0013</b>

Indicadores de Desempenho de Areas irrigadas -  
Melhor Cenário Médio

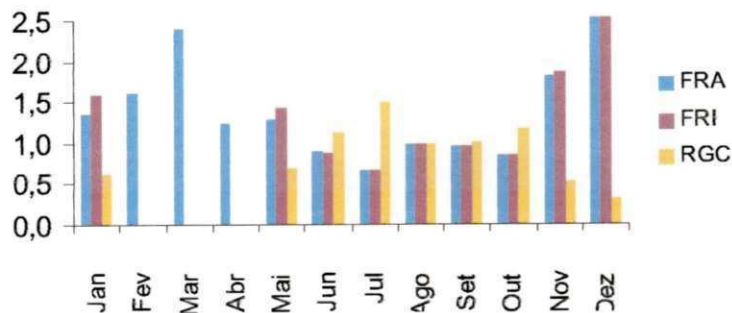


Figura 7.42 – Indicadores de desempenho de áreas irrigadas - Açude VAZANTE

Analisando os valores apresentados das Tabelas 7.48 a 7.58 para FRA e FRI médios em todos os reservatórios, verifica-se que os mesmos variaram de 1,19 a 1,40, para o FRA, ou seja, as demandas foram atendidas, em média, de 19% a 40% a mais de água, correspondente a necessidade das culturas e da demanda de irrigação. Percebe-se que os menores valores do FRA e FRI para os reservatórios, exceto para o açude Vazante, caem nos meses do período chuvoso, em que a exigência de água por parte das culturas e de irrigação não é tão alta.

O valor da RGC média anual para todos os reservatórios, exceto para o açude Vazante, variou entre 0,73 e 0,81, demonstrando assim uma boa eficiência desses projetos de irrigação. No entanto para o açude Vazante cujo valor médio anual da RGC é 0,89, observa-se que entre os meses de junho e outubro, a RGC teve valores superiores a um, ou seja, nesses meses, a água fornecida não seria suficiente para atender as necessidades hídricas das culturas plantadas neste mês.

Entre os meses de janeiro a junho os valores para FMA são os menores para todos os reservatórios, coincidindo com o período chuvoso da região, em que se requer um menor uso de água irrigada para produzir um hectare cultivado.

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSÕES

#### 8.1 - CENÁRIO HIDROLÓGICO SECO

Os resultados encontrados para o cenário hidrológico Seco demonstraram que os sistemas estudados não garantem a sustentabilidade hídrica de 100%. Em todos os sistemas estudados, o volume final foi menor que o volume no início do processo de otimização. Em alguns deles, o ISH teve que ser reduzido para 40% para haver convergência numérica e, portanto, alguma solução.

No cenário agrícola CA1, onde se testou o modelo com culturas perenes e sazonais, nota-se que o modelo não aloca área para as culturas perenes, devido à alta demanda hídrica dessas culturas durante todo ano. Das sazonais que são irrigadas, em todos os sistemas estudados, o modelo aloca área para aquelas que são plantadas logo no início do ano, ou seja, o modelo libera a água dos sistemas logo no início do período, a fim de reduzir as perdas por evaporação durante o ano e melhor aproveitar a água da chuva e a armazenada no reservatório, já que se trata de um evento de seca.

Contudo, verificou-se, para esse cenário hidrológico, a capacidade de cada sistema em irrigar culturas perenes, obtendo assim, para Condado, Santa Inês, Serra Vermelha I, Piranhas, Vídeo e Vazante, áreas equivalentes a 87ha, 73ha, 43ha, 94ha e 19 ha respectivamente. Sendo estas escolhidas por terem o ISH mais próximos à sustentabilidade hídrica, ou seja, apresentar os valores deste indicador mais próximos aos 100%, para aqueles sistemas que tiveram resultados em diferentes valores de ISH.

#### 8.2 – CENÁRIO HIDROLÓGICO MÉDIO

Baseado nos resultados desse cenário, apesar de garantida a sustentabilidade hídrica dos sistemas nas diferentes condições de mês inicial estabelecidas, verifica-se uma alta influência nos resultados das otimizações quando se muda a condição inicial.

Nota-se também, que para o Cenário CA1, em que se testou o modelo com culturas perenes e sazonais, há preferência de irrigação de culturas sazonais, ou seja, tem-se uma maior receita líquida quando se escolhem tais culturas e percebe-se que não é uma boa opção a utilização de culturas perenes nas condições estabelecidas.

No caso de se pretender plantar cultura perene, criou-se o cenário CA3, em que se fixaram as áreas destas culturas obtidas do cenário agrícola CA2 do cenário Seco. Nesse cenário, para todos os reservatórios, a condição de mês inicial teve muita influência nos resultados em termos de receita líquida, com pode-se verificar nas Tabelas de 7.28 a 7.38.

A convergência do processo iterativo de otimização é analisada através dos valores calculados para a função objetivo e função de penalidade do modelo, que para uma boa aceitação, devem ser iguais ou da mesma ordem de grandeza. Ou seja, a convergência se dá quando o erro relativo dessas funções for mínimo dentro de um certo nível de tolerância. O cálculo do erro é baseado nos valores dessas funções entre intervalos de tempo  $t$  e  $t-1$ . Portanto, fica evidenciado que, quando se verificaram diferentes resultados para a função objetivo ao se mudar a condição de mês inicial na análise dos reservatórios estudados, notou-se a existência de outros mínimos na resolução do problema. Provavelmente, isso se deve a duas possibilidades: 1) a variabilidade intrínseca do regime hidrológico, o que altera o nível de água nos reservatórios e, conseqüentemente, a forma de atender o critério de sustentabilidade hídrica e 2) a própria natureza não-linear intrínseca do problema, que poderia gerar soluções em mínimos locais.

### 8.3 – QUANTO AOS INDICADORES DE DESEMPENHO DOS RESERVATÓRIOS

Verificou-se nos resultados desses indicadores que três dos seis reservatórios atenderam bem suas demandas, o açude Serra Vermelha I, o açude Piranhas e o açude Vídeo, os quais obtiveram altos valores do indicador Confiabilidade.

Com relação ao açude Vídeo, vê-se que o mesmo obteve resiliência de 100%, ou seja, sempre que ocorria falha nesse reservatório em um determinado mês do período, no mês seguinte ele se recuperava.

No entanto, os três reservatórios, Condado, Santa Inês e Vazante não obtiveram um bom indicador de confiabilidade, ou seja, na maioria dos meses da simulação, esses reservatórios não conseguem atender suas demandas. Pelos baixos indicadores de resiliência apresentados, nota-se que os mesmos demoram muito para se recuperar quando entram em estado de falha.

Os altos valores nas vulnerabilidades dos reservatórios salientam a característica climática de regiões semi-áridas, ou seja, quando ocorrem anos de seca, a sua vulnerabilidade é bastante alta.

A utilização de cenário baseado em valores médios para verificar o desempenho de reservatórios em alguns casos é viável, em outros não, como se percebe em três dos seis reservatórios estudados. O ideal seria, portanto, ter-se o conhecimento da capacidade real cada reservatório em diferentes anos. Poder-se-ia obter isso se fosse possível fazer a otimização para uma série longa de anos para cada reservatório, assim como se faz na simulação, mas, infelizmente, é computacionalmente inviável tal alternativa quando se trata da otimização.

#### 8.4 – QUANTO AOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E VULNERABILIDADE DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.

Quanto à sustentabilidade das bacias de contribuição dos reservatórios, os dados de disponibilidades hídricas para o cálculo dos índices dessas bacias requerem mais averiguações, pois se obteve valores irreais para alguns índices. Quanto aos indicadores de vulnerabilidade, os altos valores de S/D denotam alto nível de acumulação nas bacias de contribuição dos reservatórios, exceto na bacia do açude Vazante. A relação  $D/Q > 0,2$  para todas as bacias demonstrou um indicativo de vulnerabilidade das mesmas.

Quanto à relação  $Q_{\min}/Q_{\max}$  igual a zero para todos os cursos d'água afluentes dos reservatórios, demonstrou a intermitência dos mesmos.

#### 8.5 – QUANTO AOS INDICADORES DE DESEMPENHO DE ÁREAS IRRIGADAS

Os indicadores de balanço hídrico apresentaram-se bastante satisfatórios em todos os reservatórios estudados, conforme se constata nas Tabelas de 7.48 a 7.58. Quando ocorria o aumento de área irrigada, havia um decréscimo no fornecimento médio de água por hectare, porque aumentava a área das culturas sazonais que fazem melhor uso do período do chuvoso, o que indica um menor uso da água de irrigação para produzir um hectare cultivado.

Os fornecimentos relativos de água (FMA) apresentaram uma tendência de alta em todos os sistemas, aproximando-se do valor unitário. A Razão Global de Consumo



(RGC) para todos os sistemas apresentou valores excelentes próximo do satisfatório conforme Brito *et al.* (1998).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. S. O., ANDRADE, P. R. G. S, CURI, R. C. e CURI, R. F. (2003). Uma Análise da Operação de um Sistema de Cinco Reservatório do Alto Capibaribe, Pernambuco. XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Curitiba. *Anais...* Curitiba PR, CD- ROM.

ANDRADE, P. R. G. S. (2000). **Operação integrada ótima do sistema hídrico Jucazinho-Carpina, para múltiplos usos - Rio Capibaribe/PE**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 226.

AUSTRALIAN DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES AND ENERGY (DPIE) - (1995). **A Survey of Work on Sustainability Indicators**. DPIE, Disponível on-line em [http://www.dpie.gov.au/dpie/cpd/survey\\_a.html](http://www.dpie.gov.au/dpie/cpd/survey_a.html)

AZEVEDO, L. G. T.; (1997). Modelos de simulação e de rede de fluxo. In: PORTO, R. L. L. org. **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Ed. Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre-RS. cap. 4 p. 165-237.

BANCO DO NORDESTE S/A. (1997). **Manual de Orçamentos Agropecuários –CENOP-CDE**, Campina Grande - PB.

BARBOSA, D.L. (2001). **Otimização da operação de múltiplos reservatórios em paralelo para usos e objetivos múltiplos**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 140.

BARROS, M.T.L.; TSAI, F.T.; YANG, S.; LOPES, J.E.; YEH, W.W. (2003) Optimization of large-scale hydropower system operation. **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.**, Nova York, v.129, n.3, p. 178-188, mai./jun. .

BENBROOK, C.M.; GROTH III, E. (1996) **Indicators of the Sustainability and Impacts of Pest Managements Systems**. Disponível on-line em <http://www.pmac.net/aaas.htm>.

BOUNI, C. (1996). **Indicateurs de développement durable: l'enjeu d'organiser une information hétérogène pour préparer une décision multicritère**. Paris: AScA, 14p.

BRAGA, B. P. F. (1987). Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: **Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 1, Nobel/ABRH.

BRITO, R.A.L.; SOARES, J.M.; CAVALCANTI, E.B.; BOS, M.G. (1998). Irrigation performance assessment for Nilo Coelho Scheme in Northeastern Brazil: A preliminary analysis. In: **AFRO-ASIAN REGIONAL CONFERENCE, 10, Bali. Proceedings...** Bali: ICID. v. II-A, A13.1-7.

BROWN Jr., K.S (1987). "Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais". In: MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. (Coord.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: ESALQ/PUC, p.143-145.

CELESTE, A.B. SUZUKI, K. SANTOS, V.S. (2005) Análise de Indicadores de Sustentabilidade para reservatórios operados por regras derivadas de Otimização Estocástica Implícita. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa-PB, Anais...João Pessoa, 18pp. CD-ROM.

CELESTE, A.B.; CURI, R.C.; CURI, W.F.(2000). Indicadores de Desempenho de um sistema agregado de reservatórios na Bacia do Rio Piancó. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa-PB, Anais... João Pessoa, 13pp. CD-ROM.

CELESTE, A.B., CURI, R.C., CURI, W.F. (1996), Um modelo de operação ótima de reservatórios sujeitos à múltiplos usos, III SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, ABRH, pp 39-46, Dez.

CHANDRAMOULI V.; RAMAN. II. (2001). Multireservoir Modeling with Dynamic Programming and Neural Network. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 127, n. 2, p. 89-98. Mar./Abr.

CHRISTOFOLETTTI, A. (1999). *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo-SP.

CIRILO, J. A.(1997). Programação Não Linear Aplicada a Recursos Hídricos, in: *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFGRS/ ABRH. Porto Alegre, RS.

CURI, W. F.; CURI, R.C., ORNAP (2003): Optimal Reservoir Network Analysis Program. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Maceió. Anais. Maceió. CD-ROM.

CURI, R. C., CURI, W. F. e CELESTE, A. B. (1997). Alocação ótima de água do reservatório engenheiro Arco Verde para irrigação via programação não linear. XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Vitória. ES. Anais... Vitória, CD-ROM.

DAHLQUIST, G.; BJÖRCK, A. (1974). *Numerical Methods*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 592p.

DRAPER, A.J (2001). *Implicit stochastic optimization with limited foresight for reservoir systems*. Davis, Califórnia,. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia) University of California.

DROUIN, N.; GAUTIER, A., LAMOND, B.F.; LANG, P. (1996). Piecewise Affine Approximations for the Control of a One- Reservoir Hydroelectric System. *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, pp.53-69.

FEIRING, B. R. (1998). *A Stochastic Programming Model for Water Resource Planning*. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 27, pp. 1-7.

GOMES, H. P. (1999). *Engenharia de irrigação hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento*. Editora Universitária – UFPB, Campina Grande-PB, 3ª Edição. 412p.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resour. Res.*, 18(1), pp. 14-20.

HATCHUEL, G. POQUET, G. (1992) *Indicateurs sur la qualité de vie urbaine et sur l'environnement*. Paris: Credoc, 58p. (Document intermédiaire).

- HOUCK, M. H. (1982). Real-time daily reservoir operation by mathematical programming. **Water Resource Research**, Washington, v.18, n.5, p. 1345-1351, out.
- KARAMOUZ, M.; HOUCK, M.H.; DELLEUR, J.W. (1992). Optimization and simulation of multiple reservoir systems. **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.**, Nova York, v.118, n.1, p.71-81, jan./fev.
- KUO, S. F., LIU, C. W. (2003), Simulation and Optimization Model for Irrigation Planning and Management. **Hidrological Processes, Wile InterScience**. DOI. 10.1002/hyp.1269.
- KUO, S.F.; LIU, C.W.; CHEIN, S.K. (2003). Comparative study of optimization techniques for irrigation project planning. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**. p59-73.
- LABADIE, J. W.; PINEDA, A. M.; BODE, D.A. (1984). Network analysis of raw supplies under complex water rights and exchanges: **Documentation for program MODSIM3**. Colorado Water Resources Institute, Fort Collins, Colorado, EUA.
- LABSID – Laboratório de sistemas de suporte a decisão – USP (2002). **ACQUANET – Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos – manual do usuário**. p. 22.
- LANNA, A. E (1997). Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos. In: **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS.
- LANNA, A. E. (1997a) **MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**.( versão DOS 1997). IPH – UFRGS.Porto Alegre. 55p.
- LEVINE, G. (1982). **Relative water supplí: an explanatory variable for irrigation systems**. Ithaca: Cornell University. (Technical Report, 8).
- LIMA, C. A. G. (2004). **Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Piancó, situada no estado da Paraíba**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande-PB, p. 272.
- LIMA, H.C.; LANNA, A.E.L.(2001). Operação ótima de sistemas de reservatórios: Aplicação ao sistema de abastecimento da região metropolitana de Fortaleza. In: **SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA**, 5, Aracajú. **Anais...** Aracajú, ABRH. CD-ROM.
- LOÁICIGA, H. A., P. E. (2002). *Reservoir Design and Operation with Variable Lake Hydrology*. **Journal of Water Resources Planning and Management**, pp. 399 - 405, November/December.
- LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R.; HAITH, D. A. (1981). **Water Resource Systems Planning and Analysis**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- MARZALL, K.; ALMEIDA, J. (1999). O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agrossistemas. **SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE POTENCIALIDADES E LIMITES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. UFSM- Santa Maria-RS.
- MATEUS, G.R.; LUNA, H.P. (1986). **Programação Não-Linear**. Belo Horizonte UFMG, 289p.

MITCHELL, G. (1997) **Problems and Fundamentals of Sustainable Development Indicators**. Disponível on-line em <http://www.lec.leeds.ac.uk/people/gordon.html>.

MOLDEN, D. J.; SILVA, R.; BARKER, R. (1998). Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. **IFPRI WORKING PAPERS ON IRRIGATIONS PERFORMANCE 1**. Washington: International Food Policy Research Institute.

MOY, W.S. COHON, J. L.; REVELLE, C. S. (1986). A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. **Water Resources Research**, v. 22, n. 4, p. 489-498. Abr.

MUJUMDAR, P.P.; RAMESH, T.S.V. (1997). Real- Time reservoir operation for irrigation. **Water Resource Research**., Washigton, v.33, n.5, p. 1157-1164, mai.

OLIVEIRA, E. F. C. C. (1998), **Simulação da Operação e Estimativa dos Benefícios Sócio-econômicos do Reservatório Coremas/ Mãe D'água sujeito a múltiplos usos**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p.207.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS) (2005). **Indicadores de Desempenho do Sistema Interligado Nacional (SIN)**. Disponível on-line em [http://www.ons.org.br/atuacao/indicadores\\_desempenho.aspx](http://www.ons.org.br/atuacao/indicadores_desempenho.aspx).

PICCARDI, C., SESSA, R. S. (1991). Stochastic Dynamic Programming for Reservoir Optimal Control: Dense Discretization and Inflow Correlation Assumption Made Possible by Parallel Computing. **Water Resources Research**, vol. 27, nº5.

PROGRAMA EXCELÊNCIA GERENCIAL DO EXÉRCITO BRASILEIRO (PEG-EB) - **Indicadores de Desempenho - Sistema de Medição do Desempenho Organizacional**. Nota de instrução. 16p.

QUINTELA, A. C. (1981). **Hidráulica**, fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa-Portugal.

RIGHETTO, A. M., FILHO, J. A. G. (2003). Utilização Ótima dos Recursos Hídricos Superficiais do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, vol. 8, nº2: 19-29.

SCIENTEC (1997), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas. SEPLAN.

SEMARH (2004), Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu: Plano de Ordenamento dos Usos dos Recursos Hídricos do Sistema Curema-Açu. **Cadastro de Usuários dos Recursos Hídricos - Relatório Final**. J. Pessoa, Fevereiro, 79p.

SIGVALDASON, O. T. (1976). A Simulation Model for Operation a Multipurpose Multireservoir System. **Water Resources Research**, v. 12, n. 2, p. 263-278. Abr.

SILVA, C.A.B. (2004), **Estudo da otimização do uso dos recursos hídricos dos açudes Santa Inês, Condado, Serra vermelha I, Piranhas, Vídeo, Vazante e Poço Redondo na Bacia do Rio Piancó**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 175.

- SILVA, W. P.; SILVA, C. M.D.P.S.(2004) LABFit - Ajuste de Curvas - Um software em português para tratamento de dados experimentais. **Revista Brasileira para ensino de Física**, v.26, n.4, p.419-427.
- SIMONOVIC, S. P.(1992). Reservoir System Analysis: Closing gap between theory and practice. **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.**, Nova York, vol. 118, n.3. p.262-280.
- SOARES, S.; FILHO, M. G. A. (1988). Optimal Multiobjective Operation Planning of a Water Resources System. In: **1ST' INTERNATIONAL CONFERENCE: COMPUTER METHODS AND WATER RESOURCES**, Marrocos. *Anais*. QUAZAR, D.; BREBBIA, C. A.; STOUT, G. E. v. 6, p 127-134.
- SOUZA, G.H.F.; BRITO, R. A. L.; NETO, J.D.; SOARES, J.M. NASCIMENTO, T. (2001). Desempenho do Distrito de irrigação Senador Nilo Coelho. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.204-209.
- SRINIVASAN, K., NEELAKANTAN, T.R.; NARAYAN, P.S.; NAGARAJUKUMAR, C. (1999). Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 125, n. 5, p. 298-301. Set./Out.
- SUDENE (1990). **Dados pluviométricos mensais do Nordeste** – Estado da Paraíba. Recife/PE. Brasil, *Pluviometria* 5. p.239.
- SVENDSEN, M.; VERMILLION, D. (1994). La transferencia del manejo del riego en la cuenca del río Columbia, EUA: **LECCIONES Y CONNOTACIONES INTERNACIONALES**. Colombo: IIMI. p. 98.
- SYLLA, O. (1995). A Penalty-Based Optimization for Reservoirs System Management. **Computers and Industrial Engineering**, Vol. 28, pp. 409-422.
- VIANA JR, W.P.; LANNA, A.E.L. (2004). Simulação e Otimização da operação de um sistema de reservatórios: Bacia do rio Curu. **Revista brasileira de Recursos hídricos**, v.1, no.3,pp63-83.
- TEEGAVARAPU, R.S.V.; SIMONOVIC, S.P. (2000) Short-term operation model for coupled hydropower reservoirs. **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.**, Nova York, v.126, n.2, p. 98-106, mar./abr.
- VIEIRA, V. P. P. B.( 1996). Recursos Hídricos e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-árido Nordeste. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)**, no 1, Vol. 1, p.91-107.
- WURBS, R. A. (1993). Reservoir-system Simulation and Optimization Models **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.**, Nova York, v. 119, n.4, p.455-472.
- YEH, W. W-G. (1985). Reservoir Management and Operations Model: a State-of-the-Art Review. **Water Resources Research**, Vol. 21, n. 12, pp. 1797-1818, December.
- YOUNG, G.K.; Jr. (1967). Finding Reservoir Operation Rules. **J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng.**, v.93 (HY6), p. 297-321, nov.



# ANEXOS

## ANEXO 1 - Série pluviométrica dos açudes CONDADO, SANTA INÊS E SERRA VERMELHA I

PLUVIOMETRIA (mm)												Posto Conceição- 3852197	
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
1933	158,9	118,3	141,9	170,5	2,1	7,3	3,2	2,1	0,2	5,1	74,4	26,6	710,6
1934	69,3	232,2	371,2	86,7	14,7	51,8	0,1	0,3	7,2	7,1D	7,3D	9,5D	857,4
1935	165,7	339,6	226,7*	389,0*	247,5*	54,1	9,5	7,3	0,0	8,3	4,0	41,2	1020,0E
1936	90,3	249,2	3,0	137,4	0,0	44,2	0,0	44,2	0,0	0,0	0,0	7,0	575,3
1937	156,3	364	6,2	270,2	52,6	4,4	2,1	3,5	0,0	0,6	0,2	77,5	937,6
1938	77,5	80,4	240,6	99,4	20,6	0,1	0,0	0,3	0,2	0,5	56,3	0,0	575,9
1939	108,0	221,4	290,2	151,0	31,8	0,0	51,0	0,2	1,0	0,8	40,4	6,8	902,6
1940	322,1	191,0	685,9*	336,0*	288,4*	51,0	0,1	17,5	0,7	0,6	15,3	18,1	1080,0E
1941	3,0	119,5	293,0	72,0	13,0	2,0	13,0	0,0	0,0	3,0	15,0	18,5	552,0
1942	0,3	12,8*	1,5*	4,6*	2,0*	0,8*	0,0	0,2	0,0	7,2	10,0	82,0	440,0E
1943	62,0	35,0	237,5	49,0	40,0	3,0	0,0	0,0	0,0	13,5	51,0	13,0	504,0
1944	54,0	25,0	261,0	133,0	17,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	574,0
1945	70,0	39,0	133,0	153,0	217,0	43,0	0,0	0,0	0,0	26,0	0,0	39,0	720,0
1946	128,5	76,0	112,0	221,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,0	73,4	684,9
1947	45,4	114,3	273,6	176,5	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	159,7	25,5	813,0
1948	55,4	17,0	309,0	29,1	37,3	41,8	22,5	0,0	0,0	17,0	0,0	54,0	583,1
1949	3,0	75,0	179,0	231,0	95,3	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	253,5	0,0	841,8
1950	152,5	42,5	125,5	185,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	55,0	587,5
1951	26,0	15,6	122,0	87,5	35,5	30,5	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	349,4
1952	28,3	148,3	236,8	113,5	53,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,5	8,0	29,0	652,4
1953	0,0	158,0	65,5	80,0	0,0	50,0	0,0	13,0	60,0	0,0	75,0	0,0	501,5
1954	44,5	114,2	123,3	180,2	156,9	62,0	6,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	708,1
1955	132,5	65,0	123,5	83,5	105,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	62,0	606,5
1956	0,0	215,5	217,0	115,0	91,0	5,0	0,0	0,0	0,0	22,0	94,5	8,0	768,0
1957	97,0	0,0	308,0	169,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	592,0
1958	0,0	48,0	126,0	0,0	82,5	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,0	377,5
1959	36,0	102,0	123,0	7,0	0,0	10,0	0,0	41,0	20,0	0,0	40,0	20,0	399,0
1960	88,0	68,0	344,0	91,0	45,0	38,0	0,0	10,0	15,0	0,0	0,0	20,0	719,0
1961	83,5	186,0	187,0	56,0	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,0	653,5
1962	308,0	105,0	136,0	160,0	88,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	46,4	922,4
1963	64,0	290,0	142,0	78,0	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	198,0	805,0
1964	211,4	225,2	162,0	308,6	106,2	82,6	0,0	0,0	84,8	0,0	0,0	33,4	1214,2
1965	234,9	36,4	87,6	165,2	14,4	314,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	852,5
1966	83,4	150,9	130,0	114,3	0,0	44,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,6	562,5
1967	29,6	132,4	235,2	307,1	159,3	2,3	0,0	0,0	24,2	0,0	0,0	42,9	933,0
1968	150,0G	0,0	445,5	71,6	83,7	14,6	23,2	0,0	0,0	0,0	28,4	45,8	862,8
1969	80,6	70,8	166,9	134,8	60,4	30,0	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0G	28,3	591,0
1970	151,6	138,3	207,0	43,9	0,0	0,0G	35,4	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	579,4
1971	168,9	322,7	258,6	234,2	37,6	35,0	29,8	0,0	0,0	13,0	0,0	17,4	1117,2
1972	144,3	159,8	109,2	89,3	79,7	42,4	17,2	30,4	0,0	0,0	0,0	119,6	791,9
1973	80,0	125,1	85,2	152,9	92,1	48,0	8,0	14,0	11,0	14,4	0,0	23,0	653,7
1974	27,9	393,0	207,0	203,4	74,0	35,0	34,0	0,0	25,0	0,0	37,0	46,0	1082,3
1975	72,0	175,2	330,0	131,0	43,0	69,4	72,0	0,0	150,0	0,0	0,0	113,0	1155,6
1976	33,2	183,8	260,0	87,4	1,1	0,0	0,0	0,0	42,0	15,0	87,9	16,4	726,8
1977	149,0	333,0	210,5	136,0	107,0	56,0	73,0	0,0	0,6	0,0	22,0	6,7	1093,8
1978	11,6	15,9	29,0	125,0	12,1	2,6	6,1	0,0	27,0	0,0	7,8	22,0	259,1
1979	109,0	163,0	318,0	124,0	87,0	8,0	0,0	8,0	0,0	4,0	69,0	32,0	922,0
1980	108,1	395,3	179,9	23,0	1,5	14,2	2,3	0,0	8,2	36,4	86,4	58,8	914,1
1981	20,8	95,7	367,1	75,2	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	107,4	670,2
1982	15,9	71,0	77,7	93,8	21,0	39,6	0,0	0,0	25,5	14,4	3,4	42,6	404,9
1983	46,2	266,0	241,3	123,2	14,2	9,4	18,8	3,4	0,0	0,0	0,0	15,0	737,5
1984	80,0	107,8	197,2	382,0	58,4	3,4	2,8	4,6	5,2	17,0	19,8	5,2	883,4
1985	389,3	276,8	389,4	345,8	121,6	71,4	12,4	8,0	0,0	12,8	10,6	147,4	1785,5
Média	103,1	152,3	207,6	140,9	55,6	30,1	12,5	8,9	10,4	7,0	27,3	47,9	868,7
Máxima	466,2	426,6	493,4	382,0	259,0	314,0	78,5	248,4	150,0	36,4	253,5	479,5	2108,0
Mínima	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0

D - Total mensal somente

E,F,G - Valor estimado

H - Valor homogeneizado

\* - Valor duvidoso

Origem dos dados - Arquivo de microfichas da SUDENE.

## ANEXO 2 - Série pluviométrica do açude PIRANHAS

## Pluviometria Posto Ibiara 3843919

Ano	jan	fev	mar	abr	maí	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
1962	-	-	-	-	-	-	0	0	0	6,3	94,9	30,7	-
1963	131,7	192,1	243,6	197,9	50,9	32,1	0	0	0	57,9	36,5	173,1	1115,8
1964	241,3	373,4	428,2	517,4	181,9	118,8	4,1	36,2	118,1	0	16,2	17,6	2053,2
1965	293,5	150,6	222,9	428,2	81	186,8	0	6,1	0	21,3	0	102,6	1493
1966	96,9	333	63,3	115	78,1	164,7	86,2	0	26,1	0	12,2	164,4	1139,9
1967	116,8	409,1	461,2	770,4	259,1	31	14,2	12,6	0	0	0	189,2	2263,6
1968	250	171,2	863,9	203,2	248,5	20,9	2,2	0	0	0	15,7	44	1819,6
1969	79	125,9	209,4	140,6	83,3	29,1	41,4	0	0	0	6,4	18,6	733,7
1970	120,4	124,9	179,4	107,5	7,2	4,2	8,2	0	0	5	0	3,2	560
1971	184,2	368,2	220,2	334,2	53,6	80,8	49,8	0	0	2,8	23	5,8	1322,6
1972	114,6	77,1	162,9	53,4	44,6	33,7	31,6	32,3	0	4,5	0	67,8	622,3
1973	100	171,6	106,5	177,7	109,5	73,2	35,3	12,2	24,7	8,8	0	34,7	854,2
1974	276,5	268	275,8	325,7	143,1	38,4	17,6	2,3	4,3	7,1	38,2	12,8	1409,8
1975	73,3	207,5	402,7	195,4	134,9	59,3	75	5,5	18,3	0	0	22,4	1194,3
1976	8,4	182,6	82,6	108,8	7,1	0	31,2	0	66,2	91,6	12,8	44,7	636,3
1977	143,7	123,8	139,6	186,4	103	68,9	66,8	3,2	7,5	6,4	3,1	55,6	908
1978	113,7	159,6	139,5	149,2	101,3	35,6	86,2	7,1	13,5	3,4	48,4	31,3	888,8
1979	130,9	261,2	351	159,5	68,8	13,4	0	4,3	18,4	3,2	8,3	45,7	1064,7
1980	126,6	272,6	230,5	11,2	10,1	20,3	0	-	13,1	27,3	126,1	43,7	-
1981	31,1	52,9	269,5	81,4	0	0	0	0	0	0	0	46,3	481,2
1982	16,7	32,6	84,9	96,8	29,8	0	0	0	8,4	0	0	49,1	318,3
1983	65,8	312,8	127,2	100,4	33,2	9,6	15,6	0	0	0	0	0	664,6
1984	42,2	89,2	221	267,4	38,6	0	0	0	-	18	0	0	-
1985	256,2	247	191,4	391,2	97,2	108	35,8	3,5	0	0	0	168,6	1498,9
Média	131	204,6	246,8	222,5	85,4	49	26,1	5,4	13,8	11,2	15,1	58,3	1069,2
Máxima	293,5	409,1	863,9	770,4	259,1	186,8	86,2	36,2	118,1	91,6	126,1	189,2	2263,6
Mínima	8,4	32,6	63,3	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	318,3

D - Total mensal somente

E,F,G - Valor estimado

H - Valor homogeneizado

\* - Valor duvidoso

Origem dos dados - Arquivo de microfichas da SUDENE.



## ANEXO 4 - Série fluviométrica do açude CONDADO

## SUB-BACIA DO AÇUDE CONDADO

(Área de drenagem 132,00 Km<sup>2</sup>)

ANO	VAZÕES MÉDIAS MENSAIS ( m <sup>3</sup> /s )												Q
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	0,05	0,57	0,36	0,81	0,58	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	2,44
1934	0,01	0,02	0,97	1,99	0,73	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	3,90
1935	0,14	0,52	2,08	2,63	4,53	0,87	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,03
1936	0,06	0,26	0,52	0,29	0,08	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22
1937	0,04	0,24	0,42	0,19	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,12
1938	0,04	0,07	0,28	1,03	0,50	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,96
1939	0,00	0,40	1,18	1,90	0,76	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4,39
1940	0,03	0,13	3,78	2,60	2,55	0,89	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,29
1941	0,00	0,15	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
1942	0,00	0,05	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10
1943	0,00	0,02	0,31	0,75	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,37
1944	0,01	0,01	0,30	1,27	0,78	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,48
1945	0,02	0,00	0,10	0,48	1,05	0,93	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,84
1946	0,02	0,29	0,26	0,28	0,72	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	1,66
1947	0,00	0,02	2,31	3,76	0,98	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	7,31
1948	0,00	0,00	0,48	1,08	0,40	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,04
1949	0,00	0,03	0,15	1,91	0,97	0,46	0,01	0,00	0,00	0,00	0,16	0,66	4,35
1950	0,25	0,10	0,25	0,66	0,99	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,44
1951	0,00	0,00	0,00	0,47	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69
1952	0,00	0,24	0,53	1,22	0,68	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,85
1953	0,00	0,02	0,67	0,35	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,03	1,28
1954	0,01	0,09	0,04	0,52	0,69	0,88	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,44
1955	0,07	0,24	0,15	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,59
1956	0,00	0,15	0,49	1,31	1,13	0,44	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	3,61
1957	0,06	0,00	0,05	0,28	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
1958	0,00	0,03	0,05	0,15	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,39
1959	0,00	0,02	0,03	0,15	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,22
1960	0,01	0,17	0,42	2,22	0,78	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86
1961	0,04	0,29	0,58	0,72	0,21	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	1,94
1962	0,08	0,13	0,55	0,77	0,73	0,28	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,57
1963	0,01	0,21	1,30	1,10	0,63	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	3,40
1964	0,57	0,93	1,58	3,95	1,35	0,92	0,43	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	9,78
1965	0,00	0,01	0,02	0,15	0,18	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39
1966	0,00	0,08	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,18
1967	0,01	0,07	0,58	5,65	2,08	0,81	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,30
1968	0,03	0,04	1,88	1,22	0,92	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	4,46
1969	0,04	0,03	0,14	0,70	0,38	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34
1970	0,06	0,10	1,29	0,91	0,28	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,65
1971	0,09	0,52	1,63	1,08	1,50	0,56	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,55
1972	0,15	0,35	0,43	0,23	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,32
1973	0,01	0,05	0,55	0,47	0,49	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70
1974	0,01	0,57	3,70	1,56	0,84	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	6,94
1975	0,03	0,19	1,88	1,37	1,22	0,43	0,24	0,01	0,06	0,02	0,00	0,00	5,44
1976	0,00	0,26	0,60	1,20	0,49	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	2,58
1977	0,06	0,25	0,41	0,67	0,46	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06
1978	0,00	0,12	0,73	0,51	0,66	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,15
1979	0,10	0,26	0,67	1,60	1,80	0,45	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	4,90
1980	0,03	0,26	0,85	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	1,35
1981	0,00	0,10	1,34	2,42	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	4,32
1982	0,01	0,00	0,11	0,21	0,44	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,81
1983	0,01	0,16	0,05	0,60	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99
1984	0,01	0,07	0,35	2,07	1,45	0,54	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,52
1985	0,37	5,49	3,12	7,27	2,97	0,83	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	20,28
	Parâmetros Estatísticos												178,56
Med	0,05	0,27	0,77	1,23	0,75	0,22	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	
S =	3,56												
Med =	3,37				Med-S/2 =	1,59			Med+S/2 =	5,15			

## ANEXO 5 - Série fluviométrica do açude SANTA INÊS

SUB-BACIA DO AÇUDE SANTA INÊS  
(Área de drenagem 104,80 Km<sup>2</sup>)

ANO	VAZÕES MÉDIAS MENCIAIS ( m <sup>3</sup> /s )												Q
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	0,04	0,47	0,29	0,66	0,47	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	1,98
1934	0,01	0,01	0,78	1,61	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	3,16
1935	0,11	0,42	1,68	2,13	3,66	0,70	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,93
1936	0,05	0,21	0,42	0,23	0,06	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98
1937	0,04	0,19	0,33	0,15	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,89
1938	0,03	0,06	0,23	0,83	0,40	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,58
1939	0,00	0,33	0,96	1,54	0,61	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56
1940	0,02	0,11	3,02	2,10	2,07	0,72	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,29
1941	0,00	0,12	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
1942	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08
1943	0,00	0,02	0,25	0,61	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,11
1944	0,01	0,01	0,24	1,03	0,63	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01
1945	0,02	0,00	0,08	0,39	0,85	0,75	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30
1946	0,02	0,24	0,21	0,23	0,58	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	1,34
1947	0,00	0,02	1,84	3,05	0,80	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	5,88
1948	0,00	0,00	0,39	0,87	0,32	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,65
1949	0,00	0,02	0,12	1,55	0,79	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,53	3,52
1950	0,20	0,08	0,20	0,53	0,81	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,98
1951	0,00	0,00	0,00	0,38	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
1952	0,00	0,19	0,43	0,99	0,55	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,31
1953	0,00	0,02	0,55	0,28	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,03	1,03
1954	0,01	0,08	0,04	0,42	0,56	0,72	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98
1955	0,06	0,19	0,12	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,48
1956	0,00	0,12	0,40	1,06	0,91	0,36	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	2,92
1957	0,05	0,00	0,04	0,23	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
1958	0,00	0,02	0,04	0,12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,31
1959	0,00	0,01	0,02	0,12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,18
1960	0,00	0,14	0,34	1,80	0,63	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,13
1961	0,04	0,24	0,47	0,58	0,17	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	1,58
1962	0,08	0,18	0,46	0,62	0,56	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,08
1963	0,00	0,20	1,36	0,83	0,41	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	2,89
1964	0,44	0,72	1,03	3,49	1,08	0,65	0,23	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	7,67
1965	0,00	0,01	0,01	0,18	0,28	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
1966	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
1967	0,00	0,04	0,38	3,57	1,38	0,62	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,05
1968	0,03	0,05	2,25	1,15	0,72	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,42
1969	0,04	0,02	0,12	0,54	0,26	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,99
1970	0,05	0,10	0,88	0,73	0,20	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96
1971	0,07	0,47	1,40	0,87	1,03	0,44	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,31
1972	0,12	0,28	0,37	0,23	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,14
1973	0,01	0,03	0,43	0,43	0,40	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39
1974	0,00	0,48	3,12	1,26	0,66	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	5,69
1975	0,02	0,14	1,42	1,13	0,99	0,31	0,16	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	4,25
1976	0,00	0,19	0,46	0,96	0,39	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	2,03
1977	0,05	0,19	0,30	0,61	0,48	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85
1978	0,00	0,15	0,67	0,50	0,61	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07
1979	0,06	0,10	0,37	1,04	1,14	0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,10
1980	0,02	0,19	0,66	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	1,03
1981	0,00	0,09	0,68	1,94	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,08
1982	0,01	0,00	0,09	0,17	0,36	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65
1983	0,00	0,10	0,02	0,41	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
1984	0,01	0,05	0,27	1,63	1,15	0,41	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,55
1985	0,33	4,97	2,57	5,66	2,38	0,65	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	16,73
	Parâmetros Estatísticos												142,61
Med	0,04	0,23	0,62	0,98	0,59	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	
S	2,85												
Med	2,69						Med+S/2 = 4,12			Med-S/2 = 1,26			
	Med = média S = desvio padrão												



## ANEXO 6 - Série fluviométrica do açude SERRA VERMELHA I

SUB-BACIA DO AÇUDE SERRA VERMELHA I  
(Área de drenagem 57,74 Km<sup>2</sup>)

ANO	VAZÕES MÉDIAS MENSAIS ( m <sup>3</sup> /s )												Q
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	0,02	0,25	0,16	0,35	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	1,06
1934	0,01	0,01	0,40	0,87	0,32	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,69
1935	0,06	0,23	0,91	1,15	1,98	0,38	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,82
1936	0,02	0,11	0,23	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
1937	0,02	0,10	0,18	0,08	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,48
1938	0,02	0,03	0,12	0,45	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,85
1939	0,00	0,18	0,52	0,83	0,33	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92
1940	0,01	0,06	1,63	1,13	1,11	0,39	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,47
1941	0,00	0,06	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
1942	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
1943	0,00	0,01	0,13	0,33	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
1944	0,01	0,00	0,13	0,55	0,34	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09
1945	0,01	0,00	0,04	0,21	0,46	0,41	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24
1946	0,01	0,13	0,11	0,12	0,31	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,72
1947	0,00	0,01	0,99	1,64	0,43	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	3,17
1948	0,00	0,00	0,21	0,47	0,17	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,88
1949	0,00	0,01	0,07	0,84	0,43	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,29	1,90
1950	0,11	0,04	0,11	0,29	0,43	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07
1951	0,00	0,00	0,00	0,20	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
1952	0,00	0,10	0,23	0,53	0,30	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25
1953	0,00	0,01	0,29	0,15	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,56
1954	0,00	0,04	0,02	0,23	0,30	0,38	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06
1955	0,03	0,11	0,07	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,26
1956	0,00	0,06	0,21	0,57	0,49	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	1,58
1957	0,03	0,00	0,02	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
1958	0,00	0,01	0,02	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17
1959	0,00	0,01	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
1960	0,00	0,07	0,19	0,97	0,34	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69
1961	0,02	0,13	0,25	0,31	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,84
1962	0,06	0,09	0,23	0,32	0,34	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19
1963	0,00	0,11	0,91	0,44	0,24	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,75
1964	0,28	0,46	0,64	1,93	0,58	0,39	0,18	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	4,48
1965	0,00	0,00	0,01	0,08	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
1966	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
1967	0,00	0,02	0,15	1,64	0,82	0,35	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01
1968	0,02	0,03	1,41	0,53	0,40	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54
1969	0,02	0,01	0,06	0,34	0,18	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
1970	0,03	0,05	0,62	0,40	0,12	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22
1971	0,04	0,28	0,56	0,39	0,55	0,24	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,09
1972	0,08	0,20	0,24	0,14	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,76
1973	0,01	0,02	0,22	0,17	0,20	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
1974	0,00	0,28	1,74	0,65	0,34	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,10
1975	0,02	0,10	1,01	0,63	0,50	0,15	0,10	0,01	0,04	0,02	0,00	0,00	2,58
1976	0,00	0,12	0,29	0,71	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,40
1977	0,03	0,12	0,21	0,38	0,29	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24
1978	0,00	0,06	0,35	0,24	0,30	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01
1979	0,04	0,10	0,25	0,70	0,88	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
1980	0,01	0,11	0,35	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,55
1981	0,00	0,05	0,55	1,06	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85
1982	0,01	0,00	0,07	0,10	0,23	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
1983	0,00	0,06	0,02	0,28	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
1984	0,01	0,03	0,15	1,41	0,65	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50
1985	0,17	2,43	1,61	2,80	1,39	0,36	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	8,87
Parâmetros Estatísticos													79,52
Med	0,02	0,12	0,36	0,53	0,33	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
S	1,54												
Med	1,50												
	Med+S/2 = 2,27								Med-S/2 = 0,78				
a	S = desvio padrão CV = coeficiente de variação												

## ANEXO 7 - Série fluviométrica do açude PIRANHAS

SUB-BACIA DO AÇUDE PIRANHAS  
(Área de drenagem 198,3 Km<sup>2</sup>)

ANO	VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m <sup>3</sup> /s)												Q	
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
1933	0,09	0,52	0,22	1,33	1,10	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	3,42	
1934	0,01	0,15	1,35	2,43	1,33	0,56	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,84	
1935	0,04	0,52	1,70	4,49	5,48	1,08	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	13,53	
1936	0,01	0,28	0,88	0,52	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	
1937	0,02	0,28	0,84	0,80	0,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,32	
1938	0,01	0,06	0,43	1,63	1,30	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,72	
1939	0,04	0,41	1,38	2,26	0,94	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	
1940	0,03	0,14	8,07	4,13	3,11	1,19	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,90	
1941	0,00	0,15	0,67	0,35	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	
1942	0,00	0,03	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,14	
1943	0,00	0,02	0,30	1,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	1,59	
1944	0,01	0,00	0,43	1,67	1,16	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	3,46	
1945	0,01	0,02	0,05	0,25	0,82	0,60	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77	
1946	0,02	0,22	0,13	0,20	0,82	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,23	
1947	0,01	0,03	7,03	5,76	1,46	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	14,64	
1948	0,02	0,02	0,93	1,92	0,95	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,96	
1949	0,00	0,02	0,12	1,56	1,31	0,75	0,02	0,00	0,00	0,00	0,15	0,63	4,56	
1950	0,31	0,09	0,35	1,06	1,30	0,18	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	3,33	
1951	0,01	0,00	0,00	0,34	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	
1952	0,00	0,33	0,69	1,46	0,95	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	3,64	
1953	0,00	0,02	0,66	0,21	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	1,03	
1954	0,00	0,18	0,15	0,60	0,71	0,92	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	
1955	0,09	0,42	0,68	0,68	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	2,23	
1956	0,00	0,31	0,77	1,68	1,27	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	4,40	
1957	0,03	0,00	0,42	0,72	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,55	
1958	0,00	0,01	0,05	0,24	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,35	
1959	0,01	0,15	0,40	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	
1960	0,00	0,02	0,71	1,86	1,06	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86	
1961	0,10	0,47	0,86	1,53	0,72	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,73	
1962	0,00	0,05	0,92	1,30	0,78	0,25	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	3,37	
1963	0,06	0,25	3,99	2,48	1,44	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	8,55	
1964	0,10	0,63	4,01	6,65	2,64	1,57	0,67	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	16,31	
1965	0,12	0,12	0,10	0,98	1,25	0,90	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,77	
1966	0,00	0,49	0,15	0,17	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,94	
1967	0,05	0,37	6,15	14,43	5,65	1,36	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,32	
1968	0,04	0,11	1,26	1,60	1,28	0,80	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	
1969	0,00	0,11	0,44	1,37	0,84	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,12	
1970	0,02	0,00	1,36	1,15	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,11	
1971	0,10	0,67	1,99	8,32	2,76	1,21	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,40	
1972	0,18	0,42	0,55	0,58	0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	2,26	
1973	0,17	0,08	1,21	3,63	3,12	1,16	0,55	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97	
1974	0,28	1,10	5,77	7,79	2,20	0,98	0,27	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	18,41	
1975	0,06	0,38	6,73	4,02	4,53	1,24	0,77	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	17,87	
1976	0,00	0,82	1,80	3,06	0,98	0,07	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	6,79	
1977	0,07	0,41	0,70	1,07	1,22	0,93	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	4,74	
1978	0,02	0,15	1,72	1,55	1,68	0,89	0,21	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	6,28	
1979	0,23	0,77	5,73	3,83	2,30	0,76	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	13,65	
1980	0,09	0,45	1,58	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,03	2,68	
1981	0,01	0,07	0,57	2,29	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60	
1982	0,00	0,01	0,22	0,28	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,83	
1983	0,02	0,51	0,16	0,82	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	
1984	0,00	0,04	0,88	2,87	1,86	0,69	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,36	
1985	0,29	5,93	3,52	16,67	4,21	1,36	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	32,54	
1986	0,02	0,52	3,04	4,36	2,21	0,90	0,14	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	11,20	
1987	0,06	0,22	0,72	1,96	1,14	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,33	
1988	0,05	0,23	0,59	3,33	2,41	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	7,18	
1989	0,03	0,01	0,23	5,17	3,77	1,43	0,35	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	11,05	
	Parâmetros estatísticos												362,94	
Med	0,05	0,35	1,52	2,51	1,36	0,44	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02		
S =	6,76													
Med =	6,37													
	Med+S/2 =						9,75						Med-S/2 =	2,99
Med = média S = desvio padrão														



## ANEXO 9 - Série fluviométrica do açude VAZANTE

SUB-BACIA DO AÇUDE VAZANTE  
(Área de drenagem 139 Km<sup>2</sup>)

ANO	VAZÕES MÉDIAS MENSAIS ( m <sup>3</sup> /s )												Q
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	0,03	0,40	0,31	1,31	1,21	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	3,60
1934	0,04	0,25	3,08	4,03	1,29	0,85	0,11	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	9,69
1935	0,04	0,25	7,30	4,73	4,27	0,94	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,87
1936	0,01	0,17	0,73	0,49	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55
1937	0,01	0,26	0,75	0,85	0,75	0,44	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,14
1938	0,01	0,01	0,25	0,94	1,19	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82
1939	0,03	0,29	1,45	1,22	0,37	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	3,42
1940	0,10	0,62	6,85	2,04	1,13	0,63	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,44
1941	0,00	0,12	0,87	0,81	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,20
1942	0,00	0,02	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,02	0,00	0,24
1943	0,01	0,06	0,24	0,89	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,44
1944	0,00	0,00	0,19	0,68	0,84	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	2,08
1945	0,07	0,14	0,26	0,19	0,52	0,58	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,88
1946	0,04	0,19	0,17	0,04	0,24	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,81
1947	0,01	0,52	4,64	5,39	1,04	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,18	12,03
1948	0,00	0,13	0,04	0,36	0,45	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
1949	0,00	0,02	0,01	0,48	0,80	0,56	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92
1950	0,05	0,00	0,35	2,91	1,40	0,42	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,01	5,28
1951	0,02	0,00	0,00	0,54	1,06	0,70	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53
1952	0,12	0,02	0,14	0,58	0,83	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	1,92
1953	0,03	0,00	0,28	0,24	0,35	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,94
1954	0,01	0,33	0,30	1,32	1,22	0,89	0,63	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	4,75
1955	0,08	0,56	1,09	1,14	0,70	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
1956	0,00	0,46	0,78	1,21	0,74	0,11	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,36
1957	0,02	0,00	2,31	3,62	0,94	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,06
1958	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1959	0,00	0,25	0,94	0,55	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80
1960	0,00	0,00	5,26	2,14	1,07	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	8,76
1961	0,09	0,67	0,84	1,01	0,70	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52
1962	0,01	0,08	0,36	0,69	0,33	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52
1963	0,02	0,00	3,28	1,45	1,17	0,56	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	6,75
1964	0,09	1,63	1,52	8,06	1,87	0,93	0,69	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	14,89
1965	0,02	0,00	0,21	4,12	2,02	1,10	0,60	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	8,10
1966	0,00	0,38	0,21	0,09	0,13	0,04	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,04	1,03
1967	0,04	0,57	6,77	10,64	4,33	1,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,49
1968	0,06	0,00	0,74	1,07	0,67	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78
1969	0,28	0,24	0,52	1,09	0,84	0,88	0,55	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46
1970	0,19	0,09	1,14	0,69	0,51	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,64
1971	0,04	0,25	1,62	7,98	3,96	1,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,12
1972	0,04	0,17	0,17	0,50	0,69	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,79
1973	0,01	0,03	0,48	3,20	1,37	1,13	0,98	0,47	0,02	0,00	0,00	0,00	7,68
1974	0,17	0,87	6,37	14,21	2,21	0,95	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	25,01
1975	0,01	0,09	1,83	1,29	1,68	0,86	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00	0,01	6,50
1976	0,00	0,52	1,11	2,46	0,73	0,14	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	5,01
1977	0,01	0,02	0,48	0,93	4,21	2,61	1,12	0,20	0,00	0,00	0,00	0,02	9,61
1978	0,00	0,15	1,06	0,90	1,41	0,62	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	4,25
1979	0,10	0,20	0,89	1,14	1,21	0,39	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,96
1980	0,01	0,09	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,28
1981	0,06	0,03	0,50	1,93	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,93
1982	0,00	0,00	0,01	0,15	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
1983	0,00	0,18	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
1984	0,02	0,01	0,44	5,63	1,36	0,50	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,95
1985	1,50	6,70	4,70	5,17	1,97	1,04	0,98	0,15	0,00	0,00	0,00	0,07	22,29
	Parâmetros Estatísticos												299,36
Med	0,07	0,34	1,40	2,14	1,08	0,43	0,15	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	
S =	6,03												
Med =	5,65						Med+S/2 = 8,66			Med-S/2 = 2,64			