

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

**TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA A BACIA DO RIO  
PARAÍBA: UMA AVALIAÇÃO DA SINERGIA E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA  
UTILIZANDO O MODELO DE REDE DE FLUXO ACQUANET**

**TALITA GABRIELLE ARAGÃO**

**CAMPINA GRANDE-PB**

**ABRIL DE 2008**

TALITA GABRIELLE ARAGÃO

**TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA A BACIA DO RIO  
PARAÍBA: UMA AVALIAÇÃO DA SINERGIA E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA  
UTILIZANDO O MODELO DE REDE DE FLUXO ACQUANET**

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: WILSON FADLO CURI**

ROSIRES CATÃO CURI

**CAMPINA GRANDE-PB**

**ABRIL DE 2008**

TALITA GABRIELLE ARAGÃO

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A659t

2008 Aragão, Talita Gabrielle.

Transposição do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo acquanet / Talita Gabrielle Aragão. — Campina Grande: 2008. 124 f.: il

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

Referências.

Orientadores: Dr. Wilson Fadlo Curi e Dr<sup>a</sup>. Rosires Catão Curi.

1. Recursos Hídricos. 2. Sinergia. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDU – 556.18 (043)

UFCG - BIBLIOTECA - CAMPUS I	
2514	38-09-08

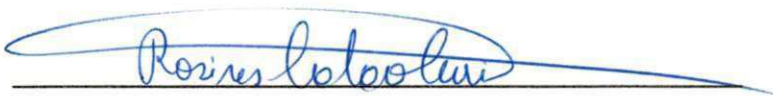
**TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA A BACIA DO RIO  
PARAÍBA: UMA AVALIAÇÃO DA SINERGIA E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA  
UTILIZANDO O MODELO DE REDE DE FLUXO ACQUANET**

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



DR. WILSON FADLO CURI (DF/UFCG)

ORIENTADOR



DRA. ROSIRES CATÃO CURI (UAEC/UFCG)

ORIENTADORA



Dr. PAULO ROMERO GUIMARÃES SERRANO DE ANDRADE  
EXAMINADOR EXTERNO



DR. CÍCERO AURÉLIO GRANGEIRO LIMA

EXAMINADOR INTERNO

CAMPINA GRANDE-PB

ABRIL DE 2008

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Socorro Aragão (in memória) e Francisco Alves da Silva, meus valiosos Irmãos Richard e Graziela, ao meu querido esposo Manoel Júnior e meu amado filho Victor, e a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, Pai de infinita bondade, por me dar a vida, nela me concede bênçãos, realizações e me ajuda a compreender todas as pessoas que passam por ela. Por ter me dado a oportunidade de aprimorar meus conhecimentos, e sempre está presente em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, meu irmão Richard, minha irmã Graziela, minha cunhada Jônica e meu cunhado Paulo pelo amor, apoio e incentivo em mais uma etapa da minha vida.

Ao meu esposo e filho por ter caminhado comigo nessa conquista.

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, pelos conhecimentos prestados, esclarecimentos concedidos durante o curso.

A todos da minha turma de mestrado: Isabel Mota, Dayane Carvalho, Katiana de Araújo, Roberta Lima, Francisco Fonseca, Whelson Oliveira, João Virgílio, Laércio Leal, Fernanda Maria e em especial a Susana Cristina por ter participado ativamente dessa conquista e a todos pelo coleguismo, companheirismo, amizade, cumplicidade durante todo o curso.

Ao meu amigo Valterlin pela contribuição e enriquecimento desse trabalho, ao Dr. Cícero Aurélio pela contribuição e disponibilização dos coeficientes de perdas nos trechos do rio, de suma importância, para que o sistema representasse bem a região em estudo.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Alrezinha, Aroldo, Ismael, Josete, Lindimar, Raul e Vera pelos serviços prestados.

A todos da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) e LMRS (Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba), que colaboraram de forma gloriosa para a concretização desse trabalho.

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

Enfim, agradeço a todos, que de alguma forma, colaboraram para a realização e conclusão dessa dissertação.

**EPIGRAFE**

*"O dia em que o clima escapará do controle está próximo. Estamos chegando ao irreversível. Nessa urgência, não há tempo para medidas mornas.*

*É hora de uma revolução em nossas consciências, em nossa economia e em nossa ação política."*

**Jacques Chirac, Presidente da França**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> – Precipitação média para os reservatórios em mm.....	41
<b>Tabela 3.2</b> - Evaporação média nas estações meteorológicas, em mm .....	42
<b>Tabela 3.3</b> - Evaporação média mensal e coeficiente mensal do tanque classe A .....	42
<b>Tabela 3.4</b> - Demanda estimada/medida de água bruta (m <sup>3</sup> /s) do açude Boqueirão .....	43
<b>Tabela 3.5</b> - Volumes máximos e mínimos dos reservatórios.....	44
<b>Tabela 3.6</b> - Volumes Iniciais e a porcentagem do volume total dos açudes .....	45
<b>Tabela 5.1</b> - Cenários de demandas hídricas .....	57
<b>Tabela 5.2</b> - Prioridades de atendimento às demandas e volume meta dos reservatórios .....	59
<b>Tabela 6.1</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 sem transposição para ROCR .....	63
<b>Tabela 6.2</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 com transposição para ROCR.....	65
<b>Tabela 6.3</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 sem transposição para ROCR.....	67
<b>Tabela 6.4</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 com transposição ROCR.....	68
<b>Tabela 6.5</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 sem transposição para ROCR.....	70
<b>Tabela 6.6</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 com transposição para ROCR.....	72
<b>Tabela 6.7</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 sem transposição para ROCR.....	74
<b>Tabela 6.8</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 com transposição para ROCR.....	75
<b>Tabela 6.9</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 sem transposição para ROVM.....	78
<b>Tabela 6.10</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 com transposição para ROVM.....	79
<b>Tabela 6.11</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 sem transposição para ROVM.....	81
<b>Tabela 6.12</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 com transposição para ROVM.....	83
<b>Tabela 6.13</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 sem transposição para ROVM.....	85



<b>Tabela 6.14</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 com transposição para ROVM.....	86
<b>Tabela 6.15</b> - Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 sem transposição para ROVM.....	88
<b>Tabela 6.16</b> – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 com transposição para ROVM.....	90
<b>Tabela 6.17</b> - Sinergia hídrica para os Cenários 1 e 2 para ROCR.....	92
<b>Tabela 6.18</b> - Resultado da Sinergia hídrica para os Cenários 3 e 4 para ROCR.....	93
<b>Tabela 6.19</b> - Resultado da Sinergia hídrica para os Cenários 1 e 2 para ROVM.....	94
<b>Tabela 6.20</b> - Resultado da Sinergia hídrica para os Cenários 3 e 4 para ROVM.....	94
<b>Tabela 6.21</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 1 sem e com transposição para ROCR.....	95
<b>Tabela 6.22</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 2 sem e com transposição para ROCR.....	96
<b>Tabela 6.23</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 3 sem e com transposição para ROCR.....	97
<b>Tabela 6.24</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 4 sem e com transposição para ROCR.....	98
<b>Tabela 6.25</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 1 sem e com transposição para ROVM.....	99
<b>Tabela 6.26</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 2 sem e com transposição para ROVM.....	100
<b>Tabela 6.27</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 3 sem e com transposição para ROVM.....	101
<b>Tabela 6.28</b> - Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 4 sem e com transposição para ROVM.....	102

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Duração e volume de déficit em período de falha .....	17
<b>Figura 2.2</b> – Mapa da Bacia do Rio São Francisco .....	21
<b>Figura 2.3</b> – Localização do Projeto de Transposição do Rio São Francisco .....	24
<b>Figura 3.1</b> – Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.....	35
<b>Figura 3.2</b> – Localização dos reservatórios estudados .....	39
<b>Figura 3.3</b> – Layout do sistema estudado.....	41
<b>Figura 4.1</b> – Tela principal do módulo base e exemplo de traçado de uma rede .....	49
<b>Figura 4.2</b> – Botões para construção/edição do traçado.....	49
<b>Figura 4.3</b> – Tela de Definições Gerais.....	50
<b>Figura 4.4</b> – Tela para entrada/edição de dados de um reservatório .....	53
<b>Figura 4.5</b> – Tela para escolha dos resultados da simulação contínua.....	55
<b>Figura 5.1</b> – Fluxograma da Metodologia Utilizada na Pesquisa.....	61
<b>Figura 6.1</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 1 sem transposição para ROCR .....	64
<b>Figura 6.2</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 1 sem transposição para ROCR .....	64
<b>Figura 6.3</b> – Volume evaporado no Cenário 1 com transposição para ROCR em função da operação do reservatório de Acauã.....	65
<b>Figura 6.4</b> – Perdas no leito do rio para as vazões regularizadas em Acauã e respectivas garantias, no Cenário 1 com transposição para ROCR.....	65
<b>Figura 6.5</b> – Volumes vertidos no Cenário 1 sem e com transposição para ROCR.....	66
<b>Figura 6.6</b> – Evaporação nos reservatórios no Cenário 2 sem transposição para ROCR.....	67
<b>Figura 6.7</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 2 sem transposição para ROCR .....	67
<b>Figura 6.8</b> – Evaporação nos reservatórios Cenário 2 com transposição para ROCR .....	69
<b>Figura 6.9</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 2 com transposição para ROCR .....	69
<b>Figura 6.10</b> – Volumes vertidos no Cenário 2 sem e com transposição para ROCR.....	69
<b>Figura 6.11</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 sem transposição para ROCR .....	71
<b>Figura 6.12</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 3 sem transposição para ROCR.....	71
<b>Figura 6.13</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 com transposição para ROCR.....	72
<b>Figura 6.14</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 3 com transposição para ROCR .....	72
<b>Figura 6.15</b> – Volumes vertidos no Cenário 3 sem e com transposição para ROCR.....	73
<b>Figura 6.16</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 sem transposição para ROCR .....	74
<b>Figura 6.17</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 4 sem transposição para ROCR.....	74
<b>Figura 6.18</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 com transposição para ROCR.....	76
<b>Figura 6.19</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 4 com transposição para ROCR .....	76
<b>Figura 6.20</b> – Volumes vertidos no Cenário 4 sem e com transposição para ROCR.....	77
<b>Figura 6.21</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 1 sem transposição para ROVM .....	78

<b>Figura 6.22</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 1 sem transposição para ROVM .....	78
<b>Figura 6.23</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 1 com transposição para ROVM.....	80
<b>Figura 6.24</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 1 com transposição para ROVM.....	80
<b>Figura 6.25</b> – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 1 sem e com transposição para ROVM.....	80
<b>Figura 6.26</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 2 sem transposição para ROVM .....	82
<b>Figura 6.27</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 2 sem transposição para ROVM .....	82
<b>Figura 6.28</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 2 com transposição para ROVM.....	84
<b>Figura 6.29</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 2 com transposição para ROVM.....	84
<b>Figura 6.30</b> – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 2 sem e com transposição para ROVM.....	84
<b>Figura 6.31</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 sem transposição para ROVM .....	85
<b>Figura 6.32</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 3 sem transposição para ROVM .....	85
<b>Figura 6.33</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 com transposição para ROVM.....	87
<b>Figura 6.34</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 3 com transposição para ROVM.....	87
<b>Figura 6.35</b> – Perdas por descarga de fundo em Acauã para o Cenário 3 sem e com transposição para ROVM.....	87
<b>Figura 6.36</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 sem transposição para ROVM .....	89
<b>Figura 6.37</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 4 sem transposição para ROVM .....	89
<b>Figura 6.38</b> – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 com transposição para ROVM.....	90
<b>Figura 6.39</b> – Perdas no leito do rio no Cenário 4 com transposição para ROVM.....	90
<b>Figura 6.40</b> – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 4 sem e com transposição para ROVM.....	91

## RESUMO

Na região do semi-árido nordestino, a escassez de recursos hídricos tem sido um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento, apesar da grande capacidade de armazenar água, sendo uma das regiões com um dos maiores índices de açudagem do mundo. A região apresenta clima semi-árido, com balanço hídrico adverso, agravado por um manejo inadequado das bacias hidrográficas e uma baixa eficiência do aproveitamento hídrico dos açudes. Para enfrentar o crescimento e desenvolvimento populacional e a prioridade de alocação de água para abastecimento humano, como preconiza a Lei 9.433/97, impõe a necessidade da adequação da gestão dos recursos hídricos da região, compatibilizando disponibilidades dos estoques de água existentes para atender, com segurança, as demandas atuais. A sustentabilidade hídrica no semi-árido do nordeste passa pela adoção de uma política de recursos hídricos para a região, que considere e introduza níveis crescentes de proteção contra os efeitos das secas, enfrentando as vulnerabilidades ambiental, social e econômica. Dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, que exige uma análise e ações sistêmicas quanto à sustentabilidade hídrica a ele integrado, é que se inserem projetos de transposição de bacias, como especificamente é o caso da transposição de águas do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional do Brasil, minorando as incertezas no atendimento de demandas hídricas futuras. Nesse contexto, parte desta dissertação procura dar uma visão geral do projeto de transposição das águas do rio São Francisco atualmente denominado de Projeto de Integração do Rio São Francisco com as bacias do Nordeste Setentrional, principalmente ao Eixo Leste, no qual se encontra inserido o sistema em estudo localizado na Bacia do Rio Paraíba no Estado da Paraíba. Simulações com o modelo matemático AcquaNet, baseado em redes de fluxo, foram realizadas para distintos cenários de política de operação em um sistema de quatro reservatórios localizados nas sub-bacias do Alto e Médio Cursos do rio Paraíba, a fim de quantificar a Sinergia Hídrica proveniente do sistema. Foram, também, calculados, para as demandas de abastecimento e irrigação, os indicadores de sustentabilidade: Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade. Os resultados demonstraram que cuidados devem ser tomados quanto ao estabelecimento de regras de operação e forma de transporte e quantidade da água transposta do rio São Francisco, no sentido de aumentar a disponibilidade e eficiência do uso da água. Espera-se, também, que as análises decorrentes e os resultados produzidos venham a contribuir para aumentar o entendimento sobre o tema nos meios técnicos e acadêmicos.

## ABSTRACT

In the Brazilian northeast semi-arid region, the water resources scarcity has been one of the main development constraint factors, despite of the vast number of water accumulation infrastructures; being one of the worldwide regions with the highest storage reservoir indexes. The region presents a semi-arid climate, with adverse water balance, compounded by an inadequate management of river basins and a low efficiency water use. To address the population growth and development and the allocation priority of water for human supply, as advocated by Law 9.433/97, the need for adequate management of water resources in the region should be imposed, bringing the existing water stocks to meet, with security, the current demands. Water sustainability in northeast semi-arid region passes through the adoption of a water resources policy for the region, which considers the increasing levels of protection against drought effects, regarding the environmental, social and economic vulnerabilities. As the concept of sustainable development requires a systemic analysis and actions regarding the integrated water resources management, projects for inter basin water transposition can be considered, as the case of the water transposition of San Francisco river to the Northeast of Brazil, which should provide an additional water supply to the receiving basins, reducing the uncertainties in meeting future water demands. In this context, part of this dissertation seeks to give an overview of the San Francisco river water transposition project, currently known as Project of the San Francisco River Integration with the Brazilian Northeast river basins, regarding the East Axis project, in which is inserted the system under study that is located in the Paraíba river basin, at the Paraíba State. AcquaNet simulations, which is based on network flows mathematical model, were performed for different scenarios of operation policies for a system of four reservoirs, which are located in sub basins of the upper and middle part of Paraíba River, in order to quantify the Hydro Synergy of the system. The demands of human supply and irrigation, as well as the indicators of sustainability such as Reliability, Resilience and Vulnerability, were calculated. The results have shown that care must be taken when establishing operating rules and means of water transport, as well as the amount of water to be transposed from San Francisco river, regarding the increase of water availability and use efficiency. It is also hoped that the produced results and analysis help to increase the understanding on the subject in academic and technical means.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	II
EPÍGRAFE .....	III
LISTA DE TABELAS .....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VI
RESUMO. ....	VIII
ABSTRACT.....	IX
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
1.1 – INTRODUÇÃO .....	2
1.2 - OBJETIVO GERAL.....	3
1.3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 - PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO EM SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS .....	6
2.2 - ANÁLISE DE SISTEMAS E ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	7
2.2.1 – SIMULAÇÃO.....	8
2.2.2 – OTIMIZAÇÃO .....	8
2.2.3 – OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS .....	11
2.2.4 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE RESERVATÓRIO .....	14
2.2.5 – INDICADORES DE DESEMPENHO .....	16
2.2.5.1 – CONFIABILIDADE.....	17
2.2.5.2 – RESILIÊNCIA .....	17
2.2.5.3 – VULNERABILIDADE .....	18
2.2.5.4 - SUSTENTABILIDADE.....	18
2.3 - O PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE .....	19
2.3.1 – ASPECTO DA HISTÓRIA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO .....	19
2.3.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO.....	21
2.3.3 - SINERGIA HÍDRICA PROPORCIONADA PELA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO	25
2.4 – ALGUMAS EXPERIÊNCIAS DE TRANSPOSIÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO .....	28
2.4.1 – NO BRASIL.....	28
2.4.2 - NO MUNDO .....	30

<b>CAPÍTULO III - A CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	32
3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA .....	33
3.1.1 – SUB-BACIA DO RIO PARAÍBA .....	35
3.1.2 - REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA .....	36
3.1.3 - REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA .....	37
3.1.4 - REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA .....	38
3.2 – RESERVATÓRIOS SELECIONADOS PARA ESTUDO DA SINERGIA HÍDRICA .....	38
3.2.1 AÇUDE DE PORÇÕES .....	39
3.2.2 - AÇUDE DE CAMALAUÍ .....	39
3.2.3 - BARRAGEM EPITÁCIO PESSOA (BOQUEIRÃO) .....	39
3.2.4 AÇUDE ARGEMIRO FIQUEIREDO (ACAUÃ) .....	40
3.3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HIDRÁULICAS DOS RESERVATÓRIOS .....	41
3.3.1 - PRECIPITAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS .....	41
3.3.2 - VAZÕES AFLUENTES AOS RESERVATÓRIOS .....	41
3.3.3 - EVAPORAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS .....	42
3.3.4 - DEMANDAS .....	43
3.3.4.1 - ABASTECIMENTO HUMANO .....	43
3.3.4.2 - IRRIGAÇÃO .....	43
3.3.5 - RELAÇÃO COTA X ÁREA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS .....	44
3.3.6 - VOLUMES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS RESERVATÓRIOS .....	44
3.3.7 - VOLUMES INICIAIS DOS RESERVATÓRIOS .....	44
3.3.8 PERDAS DE CONDUÇÃO E DE INFILTRAÇÃO. ....	45
<b>CAPÍTULO IV - O SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO (SSD ACQUANET)</b> .....	46
4.1 – GENERALIDADES .....	47
4.2 ETAPAS PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS PELO ACQUANET .....	48
4.2.1 DESENHO DA REDE DE FLUXO .....	48
4.2.2 DEFINIÇÕES GERAIS .....	49
4.2.3 MÓDULO SECUNDÁRIO NO ACQUANET .....	50
4.2.4 MÓDULO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA .....	50
4.2.4.1 TIPOS DE SIMULAÇÃO .....	51
4.2.4.1.1 SIMULAÇÃO CONTÍNUA .....	51
4.2.4.1.2 PLANEJAMENTO TÁTICO .....	51
4.2.4.2 OPÇÕES DE CÁLCULO .....	52

4.2.4.3 Os DADOS DE ENTRADA/EDIÇÃO REQUERIDO PELO MODELO .....	52
4.2.4.4 A EFETUAÇÃO DO CÁLCULO E OBTENÇÃO DOS RESULTADOS .....	53
4.2.4.5 RESULTADOS .....	54
<b>CAPÍTULO V - METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>56</b>
5.1 - DESCRIÇÕES DOS CENÁRIOS E AS REGRAS DE OPERAÇÃO .....	57
5.1.1 - REGRA DE OPERAÇÃO CONTROLE RÍGIDO (ROCR).....	58
5.1.2 - REGRA DE OPERAÇÃO VOLUME MÍNIMO (ROVM). .....	58
5.2 - DADOS DE PRIORIDADES DE ATENDIMENTO REQUERIDOS PELO MODELO .....	58
5.3 - APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....	59
5.4 - CÁLCULOS DA SINERGIA HÍDRICA E INDICADORES DE DESEMPENHO DO SISTEMA .....	60
<b>CAPÍTULO VI - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>62</b>
6.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA CADA REGRA DE OPERAÇÃO .....	63
6.1.1 REGRA DE OPERAÇÃO CONTROLE RÍGIDO (ROCR) .....	63
6.1.1.1 CENÁRIO 1 .....	63
6.1.1.2 CENÁRIO 2 .....	66
6.1.1.3 CENÁRIO 3 .....	70
6.1.1.4 CENÁRIO 4 .....	73
6.1.2 REGRA DE OPERAÇÃO VOLUME MÍNIMO (ROVM).....	77
6.1.2.1 CENÁRIO 1 .....	77
6.1.2.2 CENÁRIO 2.....	81
6.1.2.3 CENÁRIO 3.....	85
6.1.2.4 CENÁRIO 4.....	88
6.2 – RESULTADOS DA SINERGIA HÍDRICA PARA CADA REGRA DE OPERAÇÃO.....	91
6.2.1 REGRA DE OPERAÇÃO CONTROLE RÍGIDO (ROCR) .....	91
6.2.2 REGRA DE OPERAÇÃO VOLUME MÍNIMO (ROVM).....	93
6.3 INDICADORES DE DESEMPENHO DO SISTEMA.....	95
6.3.1 REGRA DE OPERAÇÃO CONTROLE RÍGIDO (ROCR) .....	95
6.3.2 REGRA DE OPERAÇÃO VOLUME MÍNIMO (ROVM) .....	99
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>115</b>



# **Capítulo I**

## **Introdução e Objetivos**

---

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1 - INTRODUÇÃO

É evidente que a água vem se tornando cada vez mais um elemento de preocupação para os desafios deste milênio. Conseqüentemente, a busca por soluções adequadas na expansão e operação dos sistemas de reservatórios de acumulação ainda deve ser alvo de pesquisa e estudos acadêmicos, que irão subsidiar as atividades de gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos.

A operação eficiente de reservatórios no semi-árido nordestino torna-se imprescindível, devido, principalmente, às peculiaridades climáticas e ambientais, que os tornam vulneráveis às secas intensas e prolongadas. Nessa região, a escassez dos recursos hídricos apresenta-se aliada a fatores limitantes como a existência de poucos rios perenes e a irregularidade das precipitações, que fazem com que haja a necessidade de se construir reservatórios de acumulação, visando atender às necessidades de uso múltiplo da água. No entanto, verifica-se, na prática, que política de construções de açudes, por si só não soluciona os problemas de escassez hídrica. Desde muitos anos, discute-se na região a possibilidade de transposição das águas do rio São Francisco para suprir parte destas necessidades, gerando uma oferta hídrica exógena, firme, capaz de diminuir a escassez desse recurso.

Como uma conseqüência direta da transposição da água, deverá ocorrer uma elevação na qualidade de vida da população beneficiada, com melhoria dos sistemas de saneamento básico e crescimento de atividades produtivas que têm na água um de seus mais importantes componentes. O Projeto de Integração do rio São Francisco também deverá contribuir para a fixação da população na região, sobretudo na área rural, sujeita, de longa data, a um processo contínuo de migração, seja para outras regiões do País, seja para outros pontos do Nordeste onde a escassez de água não é tão intensa. Do ponto de vista econômico, a integração deverá contribuir para a diminuição dos gastos públicos com medidas de emergência durante as freqüentes secas, uma vez que a oferta de água será maior e o impacto das secas reduzido (RIMA, 2004).

A adução de água exógena à região permitirá a adoção de controles operacionais mais eficazes de volumes armazenados em reservatórios, não sendo preciso deixá-los permanentemente tão cheios à espera de uma seca prolongada. Portanto, os açudes poderão ser usados, em situações normais, para o abastecimento de água à população e para usos produtivos (agricultura e pesca, por exemplo). Menos cheios, haverá menor evaporação.

Adotando-se um planejamento integrado visando o uso racional da água poderá haver condições para que a quantidade de água dos açudes perdida por evaporação e sangramento, seja muito menor. Tais perdas, que podem ser reduzidas (ou ocorrer com baixa frequência e magnitude) representam um ganho de água a ser disponibilizada na região configurando a sinergia hídrica a ser proporcionada aos recursos hídricos locais.

## **1.2 - OBJETIVO GERAL**

O objetivo da pesquisa é estudar o comportamento da Sinergia Hídrica em quatro reservatórios receptores da transposição das águas do rio São Francisco, inseridos na bacia hidrográfica do rio Paraíba, a partir de diferentes cenários de demandas hídricas de abastecimento e irrigação, com as diferentes formas de transposição das águas do São Francisco consideradas nessa pesquisa (leito do rio e adutora), a fim de verificar o ganho sinérgico e determinar os indicadores de sustentabilidade do sistema.

## **1.3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Dentre os objetivos específicos, podem ser citados:

- Verificar os usos atuais das águas nos reservatórios;
- Determinar cenários de demandas hídricas;
- Definir prioridades de atendimento para os cenários sem transposição, a fim de retratar a operação atual dos reservatórios do sistema estudado, e para os cenários com transposição, simular regras de operação que visem prover o uso eficiente da água;
- Quantificar os volumes de água perdidos por evaporação, vertimento e perdas em trânsito no leito do rio para distintos cenários de demandas hídricas e regras de operação;
- Quantificar o volume de água total alocado para a simulação sem e com transposição, para os distintos cenários de demandas hídricas e regras de operação;
- Avaliar as respostas hídricas em todos os componentes do sistema, para cada cenário definido;

- Avaliar o comportamento operacional do sistema hídrico a partir dos indicadores de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade das demandas dos reservatórios, com base nos resultados da simulação para cada cenário.

#### **1.4 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação está estruturada em seis capítulos. São eles, além do capítulo introdutório:

**CAPÍTULO II** - apresentar-se-á a revisão bibliográfica, com explanação sobre análise de sistemas e engenharia de recursos hídricos, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos e o atual projeto de transposição do rio São Francisco, destacando-se seus aspectos mais relevantes.

**CAPÍTULO III** - descrever-se-á a área de estudo, Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, seus aspectos fisiográficos, climáticos, hidrológicos e urbanos.

**CAPÍTULO IV** - Será exposta a metodologia adotada, como a descrição dos cenários e regras de operação, prioridades de atendimento as demandas, o modelo de simulação utilizado e o cálculo da sinergia hídrica.

**CAPÍTULO V** - explicar-se-á a teoria de modelos baseados em rede de fluxos: e demonstra-se, sucintamente, como utilizar o Sistema de Suporte a Decisão (SSD) AcquaNet, detalhando apenas o módulo de alocação de água, sendo este, utilizado para a elaboração do estudo.

**CAPÍTULO VI** – Serão apresentados e discutidos os resultados das simulações os cenários elaborados, analisando as perdas por evaporação, vertimento e no leito do rio para as regra de operação, assim como a sinergia hídrica e os indicadores de sustentabilidade do sistema.

**CAPÍTULO VII** – Serão demonstradas conclusões, que foram obtidas com os resultados.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **ANEXOS**

**Capítulo II**  
**Revisão Bibliográfica**

---

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 – PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO EM SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

Conforme Santana (1998), devido à falta de conhecimento geral das variáveis e limitações dos computadores, nas duas últimas décadas do século passado, os problemas de planejamento de recursos hídricos abordados com técnicas de otimização tornavam-se bastante complicados e de difícil solução. Durante este período, as técnicas de otimização se desenvolveram de forma significativa, devido às necessidades impostas naturalmente e pelos avanços tecnológicos. Porém, quando da busca por técnicas avançadas para solucionar tais problemas, muitos se deparavam com grandes dificuldades entre a teoria e a prática de tais soluções. Simonovic (1992) comenta estas dificuldades e apresenta um modelo matemático usado no planejamento e operação de reservatórios, mostrando que o modelo responde às necessidades na prática da engenharia de recursos hídricos.

Na busca de respostas para os complexos problemas de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, lança-se mão da 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, 2004).

Com toda problemática envolvida em sistemas de recursos hídricos, os modelos de otimização têm sido cada vez mais utilizados na busca do aproveitamento máximo do potencial de cada sistema com o mínimo de perda, ou seja, buscando aproximar-se ao máximo de um ponto ótimo operacional. Logo, a otimização inclui, em entre suas restrições, os conceitos de simulação, e um procedimento matemático, denominado de programação, é utilizado para ajustar as variáveis de decisão até que se encontre a melhor solução.

## 2.2 – ANÁLISE DE SISTEMAS E ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

A Análise de Sistemas de Recursos Hídricos é uma técnica de solução de problemas complexos de Engenharia de Recursos Hídricos a partir da abordagem sistêmica e do uso de técnicas computacionais agregadas à modelagem matemática de Sistema de Recursos Hídricos (Lanna, 2002).

Sistemas de recursos hídricos podem ser definidos como um complexo sistema composto pela natureza e pelas obras construídas pelo homem. Ao considerar apenas a bacia hidrográfica natural já se percebe ser, a mesma, uma estrutura de enorme dificuldade de representação, uma vez que um grande número de processos precisam ser avaliados e também pela diversidade de ambientes ali presentes. Buscando principalmente um maior controle sobre eventos extremos (secas e cheias), o homem altera a bacia original com suas obras. Esta mudança acarreta ao sistema original maior complexidade e, conseqüentemente, aumenta a sua dificuldade de representação.

Dentro da Engenharia de Recursos Hídricos existe uma sub-área do conhecimento que trabalha com o planejamento dos Recursos Hídricos, no qual são usados modelos que tratam os problemas dentro de uma visão sistêmica, ou seja, decompõe o problema em partes menores e integra as equações que descrevem seus comportamentos. Assim, os problemas são resolvidos através de técnicas de simulação e de otimização, que são potentes ferramentas de suporte à decisão e deverão ter uso cada vez mais disseminado na prática da engenharia de Recursos hídricos. Estes modelos vieram revolucionar as soluções dadas aos grandes problemas naturalmente colocados aos Engenheiros de Planejamento.

A abordagem sistêmica está relacionada intimamente à busca de soluções de problemas complexos e generalizados, simplificando, para o engenheiro, de tal modo a requerer apenas as informações mais relevantes para sua solução.

Segundo Lanna (2002), existem dois propósitos da análise de sistemas de recursos hídricos: simular o comportamento da realidade que eles representam e otimizar os processos decisórios que atuam sobre esta realidade, dando margem a utilização de duas técnicas mais usuais a de simulação e otimização. O autor ainda apresenta alguns exemplos de aplicação de análise sistêmica via simulação e otimização; mostrando a complexidade dos problemas de engenharia de recursos hídricos enfatizando a necessidade de busca de abordagens adequadas ao seu tratamento.

### **2.2.1 - 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 de um certo conjunto de condições. Dessa forma, a simulação difere da otimização, visto que não identifica políticas ótimas de operação, porém pode permitir uma representação bem detalhada e mais realista da complexidade do sistema estudado.

Os modelos de simulação são largamente utilizados, em todo o mundo, no planejamento de recursos hídricos em sistemas de múltiplos reservatórios, visto a facilidade de trabalhar com cenarização, sem a necessidade de muitas simplificações na sua construção, o que não acontece com os modelos de otimização.

De acordo com Braga (1987), existem dois tipos básicos de modelos de simulação em recursos hídricos. O primeiro diz respeito à simulação dos processos hidrológicos (os que transformam chuva em vazão) e de qualidade de água, onde as equações diferenciais e empíricas são utilizadas para representação de vários aspectos quali-quantitativos do ciclo hidrológico. O segundo tipo de modelo de simulação refere-se aos aspectos de dimensionamento e operação de sistema de recursos hídricos. Modelos de simulação associados com operação de reservatórios consideram, regra geral, um cálculo de balanço hídrico entre as afluências, efluências e variações no armazenamento, podendo ainda incluir avaliações econômicas de prejuízos decorrentes de enchentes; benefícios de geração de energia hidrelétrica; benefícios de irrigação, pesca e outras características similares.

Segundo Yeh (1985) o primeiro modelo de simulação aplicado a um sistema de reservatórios, citado em literatura, parece ser o estudo desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers, em 1953, para uma análise operacional de seis reservatórios, no Rio Missouri, EUA. Yeh (1985) ainda aponta referências desse tipo de modelo, como por exemplo, o HEC-3 e o HEC-5, desenvolvidos 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/Corpos of Engineers, o ACRES, entre outros.

### **2.2.2 OTIMIZAÇÃO**

Os modelos de otimização são representados por uma formulação matemática, na qual um algoritmo formal é usado para calcular um conjunto de valores para as variáveis de decisão que minimizem uma função objetivo, sujeita a restrições (Wurbs, 1993).



Os modelos de otimização procuram a solução do problema de forma a atender aos objetivos estabelecidos para a operação do sistema. Isso se dá a partir da definição de uma dada função-objetivo, que é uma representação matemática dos objetivos a serem obtidos pela operação do sistema em análise. Dessa forma, os modelos de otimização buscam a maximização ou minimização da função-objetivo, cujas variáveis básicas são chamadas variáveis de decisão. Uma vez resolvido o problema, os valores obtidos para o conjunto de variáveis de decisão é uma solução ótima para a operação de sistema. Todos os processos físicos e condições de contorno do problema formam o conjunto das equações de restrição, como, por exemplo, os limites para as capacidades dos reservatórios, os limites para as vazões efluentes, obrigações legais, ambientais, limitações técnicas de equipamentos hidromecânicos etc. As dificuldades associadas aos modelos de otimização estão relacionadas com o porte do problema, com a forma e as características das funções-objetivo e equações de restrição e com a precisão requerida para solução do problema.

Os principais métodos de programação matemática são:

- a) **Programação Linear (PL):** se a função objetivo e todas as equações de restrições podem ser expressas em forma algébrica linear, com coeficientes constantes conhecidos.
- b) **Programação Linear Inteira (PLI):** quando as equações de restrições e função objetivo são lineares, contudo, as variáveis de decisão são restritas a valores inteiros. Quando apenas algumas variáveis são inteiras é dito programação linear mista.
- c) **Programação Não-Linear (PNL):** quando a função objetivo e/ou uma ou mais equações de restrição envolvem termos não-lineares.
- d) **Programação Dinâmica (PD):** Outra técnica utilizada nos problemas de otimização de recursos hídricos é a programação dinâmica (PD). Ela procura explorar a estrutura sequencial de decisão dos problemas de otimização de operação de reservatórios (Labadie, 2004). Pode ser usado para solucionar problemas lineares e não-lineares, nos quais as variáveis de decisão possuem uma característica sequencial própria. Soluções deste tipo aplicam-se quando o problema pode ser representado como uma sequência de estratégias, onde uma ou mais decisões em um estágio afetem diretamente e unicamente o estágio subsequente.

Inúmeras aplicações de PL, PNL, PD foram utilizadas em sistema de recursos hídricos. Dentre elas pode-se citar:

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

Loaiciga e Church (1990) compararam três métodos de estimativas de parâmetros de modelos hidrológicos, mais especificamente em ajustes nos parâmetros de hidrogramas. Dentre estes, aplicam também uma metodologia de otimização por programação linear, mostrando ser bastante eficiente.

Aplicações de PL na otimização da operação de múltiplos reservatórios podem ser encontradas em Oliveira (1995) e Porto, *et al.* (2002).

A programação não linear (PNL) se apresenta como uma ferramenta mais adequada quando não é possível linearizar as funções que intervêm no problema de otimização, ou quando o processo de linearização leva a grandes simplificações do modelo. Os trabalhos de Ros e Barros (2003) e Barros *et al.* (2003) empregaram este tipo de modelo na otimização da operação de reservatórios.

Saad & Frizzone (1996) apresentaram um modelo de PNL no dimensionamento e operação de um sistema de irrigação localizado, tendo como objetivo adaptação do modelo, visando determinar a configuração ótima de um sistema de irrigação localizado, procurando maximizar a receita líquida obtida com a cultura da laranja irrigada no interior de São Paulo. O estudo obteve bom desempenho nos resultados.

Celeste, (2006), em sua dissertação de mestrado, aplicou o modelo de otimização via programação não-linear ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program), desenvolvido por Curi e Curi (2003) para os reservatórios de Condado, Santa Inês, Serra Vermelha I, Piranhas, Vídeo e Vazante, na bacia do rio Piancó e os perímetros irrigados de Poço Redondo (200 ha) e Pianco II, III e Brotas (2500 ha), com o objetivo de encontrar a melhor alocação de áreas entre as culturas perenes e sazonais, assim como as demandas hídricas para cada um dos cenários hidrológicos agrícolas, tendo o estudo apresentado bons resultados. O autor, por sua vez, trata de outras aplicações desse modelo como Barbosa (2001), que estudou o comportamento da operação de um sistema de 3 reservatórios em paralelo sujeitos a usos múltiplos, localizado na Bacia do Capibaribe-PE. Andrade (2000)

utilizou o modelo ORNAP para determinar a operação ótima de um sistema hídrico formado por dois reservatórios em série e três perímetros irrigados, na bacia do Capibaribe-PE, entre outros.

Santos, (2007), em sua dissertação de mestrado desenvolveu um modelo de otimização para o estudo da operação integrada de sistemas de reservatórios e perímetros irrigados, objetivando a alocação ótima dos recursos hídricos entre os múltiplos usos e o estabelecimento de políticas operacionais via uma análise multiobjetivo. As não-linearidades intrínsecas aos processos de cada um de seus componentes foram implementadas através de um procedimento iterativo, fazendo uso da programação linear seqüencial. Aplicou o modelo em um sistema de reservatórios localizado na bacia do rio Piancó, no qual os resultados mostraram a eficiência do modelo em análise multiobjetivo e na seleção de regras operativas para a alocação da água atendendo as demandas, os objetivos estabelecidos e as restrições físicas estabelecidas.

Silveira et al. (1991) aplicaram duas metodologias, simulação e otimização com programação dinâmica, na operação de um sistema hidroelétrico com embasamento em reservatórios equivalentes. Os autores concluíram que, entre as duas técnicas analisadas, o método de otimização é mais econômico.

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

Segundo Barros (2002), o planejamento da operação de sistemas de reservatórios é, talvez, a área de Recursos Hídricos que mais emprega a Programação Dinâmica. O autor ainda destaca algumas trabalhos como Hall (1968), Harboe (1970), Tauxe et al. (1979), Yeh (1982,1985), Yeh e Troff (1972), Croley (1978) e Wurbs (1991), mais recentes como Reznicek et al. (1990), Paudyal et al. (1990), Mohan et al. (1991), Simonovic (1992), Mays e Tung (1992), Karamouz et al. (1992), Harboe (1994) e Jacobs (1995).

### **2.2.3 OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS**

A construção e operação de reservatórios têm como princípio fundamental o desenvolvimento de reservas nos períodos de excesso hídrico para seu posterior uso nos períodos de escassez.

Segundo Righetto (1998), a operação de um reservatório deve ser vista dentro de um critério em que se procure otimizar o uso do volume de água disponível de modo a se maximizar o benefício total.

A operação de um reservatório visa ao atendimento de diversos tipos de demanda com prioridades distintas. Assim, haveria uma classe prioritária, que deveria ser atendida com grande garantia, próxima a 100%, como é o caso do abastecimento humano. Outras classes de demanda apresentariam menores prioridades e nas regiões semi-áridas, onde são freqüentes as ocorrências de períodos de vazões nulas, deveria haver maior tolerância às situações de não atendimento de certas demandas do que em regiões úmidas. (Lanna, 1993).

Nos processos de expansão e operação dos sistemas de reservatórios, é necessário que se leve em conta todos os usos decorrentes que serão beneficiados pelo sistema. Visa, assim, evitar os conflitos gerados pela deficiência no atendimento às demandas dos usuários de um determinado sistema, sendo fundamental avaliar a sua potencialidade e promover a determinação de regras operativas de liberação de água para atender as demandas, com um grau de confiabilidade desejado.

Devido a esse aspecto, torna-se perceptível o avanço da tecnologia da informática, a favor da economia, da análise de sistema e da pesquisa operacional com significantes contribuições para o desenvolvimento de metodologias e ferramentas que vem sendo aplicadas aos modelos de análise de sistemas de reservatório dos quais, destacam-se: a) técnicas de análise benefício-custo; b) modelos de simulação computacionais; c) modelos de rede de fluxo; d) modelos de otimização usando os mais variados tipos de programação matemática; e) modelos de otimização com programação dinâmica; f) as técnicas de modelagem de bancos de dados, entre outras.

Segundo Yeh (1985), o problema da operação de reservatórios envolve a determinação de políticas de decisão e pode incluir uma ou mais dos seguintes componentes gerais:

- a) Volumes ou níveis-metas de armazenamento: estas regras de operação são limitadas à prescrição dos volumes de armazenamento ou níveis desejados no reservatório, sendo que o operador tenta manter ou variar tais níveis, visando atender as demandas.
- b) Zoneamento múltiplo: as regras de operação são definidas para incluir não somente os níveis-metas de armazenamento, mas também as várias zonas de estocagem de água do reservatório, tais como a zona do volume ativo, zona do controle de cheia,

zona de extravasamento e a zona do volume inativo. Cada zona corresponde a um critério de descarregamento.

- c) Faixa de defluência: esta componente de uma política de operação para prover uma relação mais descritiva entre os níveis do reservatório e as vazões nos sistemas de derivação. Depende da zona em que se encontra o volume morto.
- d) Curvas-guias condicionais: as regras condicionais são definidas para a operação do reservatório não somente em função do volume armazenado, num determinado tempo, mas também como função da previsão das afluições no futuro.

O planejamento para o desenvolvimento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica requer o exame das seguintes atividades: a) a identificação dos objetivos do sistema de recursos hídricos; b) a escolha das estruturas do projeto sistêmico, isto é: o número e locações de reservatórios, canais, etc.; c) a escolha da seqüência de construção dos elementos; d) qual a regra de operação dos componentes da bacia (Hall e Buras, 1961; Maass, 1962, apud O'Laoghaire, 1974).

Segundo Yeh (1985), na operação de reservatório, as regras de operação são usualmente construídas por modelos de simulação que simulam a operação do sistema de acordo com afluxos, com as características do sistema e com as políticas de operação. Por outro lado, as técnicas de otimização fornecem um meio de superar as dificuldades apontadas nas técnicas de simulação, como por exemplo, a dificuldade de buscar a melhor regra, tendo em vista que a otimização examina muitas alternativas em busca de uma decisão ótima. Segundo este mesmo autor, cada problema de planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos é singular, não existindo algoritmo geral para resolução dos problemas pertinentes, ficando a escolha do método na dependência das características do sistema considerado, dos dados disponíveis e dos objetivos e restrições especificadas.

Uma notável revisão do estado da arte sobre o assunto, ainda considerada atual dada a sua generalidade, é a apresentada por Yeh (1985) quando fez uma revisão do estado da arte de modelos desenvolvidos para operação de reservatórios incluindo programação linear (PL), programação dinâmica (PD), programação não-linear e simulação. Conclui, já naquela época, que a PL é uma técnica de fácil aplicação comparando com as outras técnicas e, uma de suas maiores vantagens, é ter como resultado o ótimo global na solução dos problemas.

Os trabalhos de Yeh (1985), Simonovic (1992) e Wurbs (1993) apresentam revisões sobre a modelagem de operação de sistemas de reservatórios, com ênfase nas aplicações

práticas de modelos de simulação e otimização. Mais recentemente, o estado da arte sobre modelos para operação de sistemas de reservatórios está tratado nos trabalhos de Lima e Lanna (2005), Bravo et al. (2005) e Wurbs (2005), com foco nos modelos baseados nas técnicas de simulação e otimização, e de modelos conjunto de simulação-otimização.

Labadie (2004) apresenta uma revisão sobre modelos para operação ótima de sistemas de reservatórios, assim como a inclusão dos mesmos em sistemas de suporte a decisão (SSD), discute as futuras direções da pesquisa e aplicações na área, descreve métodos de programação heurística (algoritmos genéticos, redes neurais e lógica fuzzy).

Lima e Lanna (2005) ressaltam a classificação dos modelos em quatro grupos: programação linear, programação dinâmica, programação não-linear e simulação; além disso, combinações entre esses métodos são relatadas. Baseado nessa classificação eles concluíram que o grande número de métodos se dá por três aspectos: número de reservatórios e de propósitos do uso da água; intervalo de tempo de operação; e estágios de aplicação (planejamento, projeto ou operação). Assim, ressaltam que a escolha da metodologia dependerá das particularidades do sistema em análise. Tanto os modelos que utilizam programação matemática (linear, dinâmica ou não linear) como os modelos de simulação serão importantes em situações específicas.

#### **2.2.4 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE RESERVATÓRIO**

Takeuchi & Kundzewicz (1998), tratam sobre o Gerenciamento e Desenvolvimento Sustentável de Reservatórios e abordam que a Gestão sustentável dos recursos hídricos é, a partir da perspectiva metodológica, uma generalização do conceito de gestão integrada da água que tem sido conhecido como um conceito ao longo de décadas. No entanto, ele exige um compromisso claro de objetivos mais vastos, incluindo explicitamente conservação ecológica e intra e inter-geracional equidade de questões. Como resultado, ele apela para novos instrumentos, tais como a gestão da demanda que não tenha sido gravemente exercido no passado. Gestão da demanda de água, utilizando mecanismos de preços e outras medidas regulamentares é um instrumento fundamental para a gestão sustentável dos recursos de água doce, como proposto na Agenda 21. Eles são importantes em todo o mundo, incluindo países onde a oferta é obrigatória para aumentar a gestão dos recursos hídricos. Sem uma política coerente de gestão da demanda, a oferta tende a criar mais demanda e com isso uma utilização ineficaz da água.

Gestão sustentável dos recursos hídricos pode exigir uma mudança de administração do sistema a partir de uma orientação para fornecimento para o desenvolvimento de gestão orientado para os organismos. Ela pode exigir uma nova repartição de poder administrativo aprovada pela nova legislação. A própria administração pode precisar de ser reorganizada para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável.

A Gestão sustentável de Reservatório é um subconjunto de gestão sustentável dos recursos hídricos e exige que cada conceito de gestão integrada de múltiplos objetivos, riscos e incertezas e que têm, como os sistemas de abordagem e que deverão, eventualmente, ser traduzidos em critérios exequíveis.

Gestão integrada dos recursos hídricos requer basicamente a consideração do sistema de concepção e operação em escala de bacia. As considerações devem incluir: controle hidrológico integrado das águas e de material de transporte; uso do solo e vegetação de gestão; integridade econômica a montante e a jusante, e difusão de informação hidrometeorológica,

Uma bacia hidrográfica é a unidade física natural dentro do qual qualquer gestão dos recursos hídricos está interligada e são dependentes uns dos outros. Os reservatórios maiores têm impacto sobre a sedimentação, qualidade da água, os níveis freáticos, erosão em rios, estuário marinho e cultura, a condição de águas navegáveis, paisagístico, valores cultural e recreativo e muitos outros. A utilização da água a jusante, afeta o nível da água, a infiltração, a evaporação, e a qualidade da água. Todos estes fatores devem ser considerados e coordenados a partir da fase de planejamento ao longo de toda a vida útil do reservatório como uma dependência mútua entre a bacia integrada, escala, ciclos hidrológicos e ambientais.

As perdas por evapotranspiração são importantes índices de sustentabilidade de reservatório. A evaporação de um reservatório deve ser considerada na fase de planejamento. Reservatórios com grandes áreas inundadas não são desejáveis não só devido à grande perda de terras, graves perturbações nos ecossistemas e na necessidade de mudança substancial de pessoas, mas também devido a elevada perdas de água por evaporação, especialmente em regiões áridas e semi-árida do mundo.

As informações sobre perspectiva integrada também abrange o uso de previsões meteorológicas que podem melhorar a operação de reservatório. As previsões meteorológicas são utilizadas de forma eficaz, para que os reservatórios maiores funcionem com eficiência,

satisfazendo, assim, mais precisamente a compensação de uma parte das novas necessidades de desenvolvimentos.

As técnicas utilizadas para a medição de hidrometeorológicos variáveis, tais como satélites, radares, e transmissão de dados e técnicas de transformação, têm avançado rapidamente. Juntamente com o avanço científico em Hidrometeorologia de obter conhecimentos sobre processos físicos, as observações avançadas tornam complexos modelos numéricos operacional. Estas previsões precisam de maior rendimento.

### 2.2.5 - INDICADORES DE DESEMPENHO

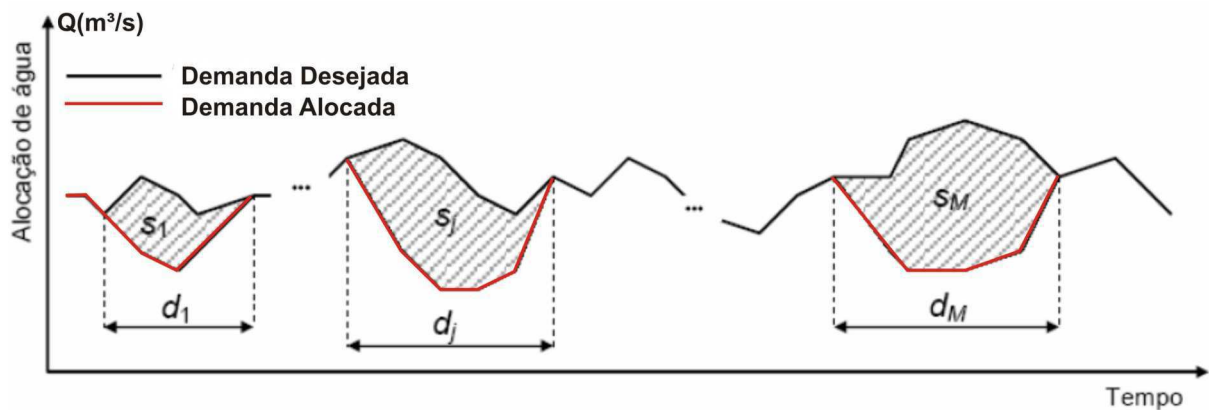
Labadie (2004) estabeleceu que as funções objetivo usadas nos modelos de otimização de sistemas de reservatórios deveriam incorporar medidas de desempenho tais como eficiência (maximizar o bem-estar atual e futuro), sobrevivência (assegurando que o bem-estar futuro excederá os níveis de subsistência mínimos) e sustentabilidade. Esta última medida pode ser considerada igual a uma soma ponderada da: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade dos vários critérios que contribuam ao bem-estar do homem (econômico, ambiental ou ecológico).

Segundo Srinivasan et al (1999) apud Celeste (2006), as falhas em operação de sistemas de reservatório de abastecimento de água são frequentemente inevitáveis durante períodos hidrológicos críticos. As falhas que caracterizam cada sistema podem ser representadas pelos indicadores de desempenhos: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Esses três indicadores de desempenho, juntos, podem ser aplicados para caracterizar o “risco” para operação e planejamento de reservatório.

Esses índices foram propostos por Hashimoto et al. (1982) e fornecem formas de avaliar os efeitos das regras de operação e auxilia na avaliação de futuros projetos a serem implantados (Vianna e Lanna, 2002).

Seja  $D_{t,i,l}$  a  $i$ -ésima demanda do reservatório  $l$  e  $Q_{t,i,l}$  os volumes fornecidos pelo reservatório  $l$  para o atendimento da demanda  $D_{t,i,l}$  no horizonte de  $t = 1, \dots, NT$ . Separam-se os valores satisfatórios  $S$  dos insatisfatórios  $I$  de modo que uma falha ocorra quando  $Q_{t,i,l} < D_{t,i,l}$ . Seja  $NF_{i,l}$  o número total de intervalos de tempo no qual  $Q_{t,i,l} < D_{t,i,l}$  e seja  $d_{i,l,j}$  a duração  $j$ -ésimo evento de falhas,  $j = 1, \dots, M_{i,l}$ , onde  $M_{i,l}$  é o número de eventos insatisfatórios da  $i$ -ésima demanda do reservatório  $l$ , e  $S_j$ , com  $j = 1, \dots, M$  é o volume de déficit. Os termos duração  $d_j$ , e o volume de déficit  $S_j$ , podem ser entendidos como ilustrado na figura 2.1.





**Figura 2.1 -Duração e volume de déficit em período de falha**

#### 2.2.5.1- CONFIABILIDADE

A Confiabilidade ( $Conf_{i,l}$ ) do atendimento à demanda  $i$  pelo reservatório  $l$  é a probabilidade da série temporal permanecer em estado satisfatório  $S$  durante o horizonte de operação, ou seja, a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas:

$$Conf_{i,l} = prob\{Q_{t,i,l} \in S\} = prob\{Q_{t,i,l} = D_{t,i,l}\} = 1 - \frac{NF_{i,l}}{NT}$$

Simplificadamente, a confiabilidade pode ser definida também como:

$$Conf = \frac{n^{\circ} \text{ de eventos em que o sistema se encontra em estado satisfatório}}{n^{\circ} \text{ de períodos de tempo da simulação}}$$

#### 2.2.5.2 - RESILIÊNCIA

A resiliência avalia a média do quão rapidamente o sistema retorna a um estado satisfatório de atendimento a demanda, uma vez que a falha tenha ocorrido. A Resiliência ( $Res_{i,l}$ ) da demanda  $i$  do reservatório  $l$  é a probabilidade de haver um estado satisfatório no período  $t+1$  dado um valor insatisfatório no período  $t$ :

$$res_{i,l} = prob\{Q_{t+1,i,l} \in S | Q_{t,i,l} \in I\} = prob\{Q_{t,i,l} = D_{t,i,l} | Q_{t,i,l} < D_{t,i,l}\}$$

A Resiliência, também, é definida como o inverso do valor esperado do tempo em que o sistema permanece em estado insatisfatório.

$$res_{i,l} = \frac{1}{E\{d_{i,l,j}\}} = \left[ \frac{1}{M_{i,l}} \sum_{j=1}^{M_{i,l}} d_{i,l,j} \right]^{-1}$$

E ainda, a resiliência pode, simplificada, ser definida como:

$$res = \frac{\text{n}^\circ. \text{ de valores simulados na zona insatisfatória seguidos de valores satisfatório}}{\text{n}^\circ. \text{ de períodos simulados na zona insatisfatória}}$$

Um sistema que tenha muitas falhas, mas tende a se recuperar rapidamente é, em alguns casos, preferível a um sistema com poucas falhas, mas o qual se recuperem lentamente (Vianna e Lanna, 2002).

#### 2.2.5.3- VULNERABILIDADE

A Vulnerabilidade ( $Vul_{i,l}$ ) do atendimento à demanda  $i$  pelo reservatório  $l$  mede a magnitude das falhas a que o sistema está sujeito. Ela pode ser definida como a média do percentual de déficits do conjunto de todos os valores insatisfatórios.

$$Vul_{i,l} = \frac{1}{NF_{i,l}} \sum_{t=1}^{NT} \left| \frac{D_{t,i,l} - Q_{t,i,l}}{D_{t,i,l}} \right|$$

Será analisado o déficit máximo ( $defmax_{i,l}$ ) ocorrido para cada demanda  $i$  de cada reservatório  $l$ .

#### 2.2.5.4- SUSTENTABILIDADE

Loucks (1997) *apud* Kjeldsen e Rosbjerg (2001) propuseram um índice de sustentabilidade geral definido por:

$$Sust_{i,l} = Conf_{i,l} \cdot res_{i,l} \cdot [1 - Vul_{i,l}]$$

## **2.3 – O PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM AS BACIAS DO NORDESTE SETENTRIONAL**

### **2.3.1 ASPECTO DA HISTÓRIA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Desde época do Brasil-Colônia foram escritos alguns relatos sobre a seca na região Nordeste que ocasionou migrações em busca de regiões com disponibilidade de água. Entre os anos de 1721 e 1727, ocorreu uma grande seca na região, na qual Portugal mandou navios com mantimentos para o Brasil e determinou que os beneficiados por esses alimentos trabalhassem na construção de melhor infra-estrutura para a região (RIMA, 2004).

Em 1838, criou-se o Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro (IHGB), o qual elaborou o primeiro trabalho de reconhecimento do norte do Nordeste, em 1856. Nesse trabalho a Comissão científica de Exploração tendo à frente o Barão de Campanema apontava para a "abertura de um canal ligando o rio São Francisco ao rio Jaguaribe, a construção de 30 açudes, a abertura de fontes artesianas profundas e melhoria dos meios de transporte" (Smith, 2000).

Pela ocorrência de uma grande seca entre 1877 e 1879, na qual estima-se que 1,7 milhão de pessoas tenha morrido de fome e sede, foi iniciada a construção do primeiro açude no Nordeste em 1884, concluído em 1906, isto é, 22 anos depois do início das obras.

Em 1909, foi criada a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), reunindo especialistas estrangeiros para elaboração dos primeiros estudos das águas subterrâneas do Nordeste, alternativa mais viável naquele momento. Em 1913, a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), realizou estudos para a execução da transposição. Os estudos propunham a construção de um túnel de 300 Km de extensão, com uma profundidade máxima de 250 metros (Veras, 1998).

Após o ano de 1945, o IFOCS passou a se denominar Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), atuando na perfuração de poços artesianos, na construção de açudes públicos e privados, no reflorestamento, no desenvolvimento de lavoura de sequeiro e cultura de vazantes, provocação artificial de chuvas e na irrigação em propriedades mais carentes.

Vários estudos foram realizados no transcorrer da primeira metade do século atual na busca de conhecer melhor o fenômeno e a sua previsibilidade. A SUDENE foi criada em 1959, de grande importância para o desenvolvimento industrial do Nordeste, dentro de uma concepção territorial que envolvia o "Polígono das Secas" definindo anteriormente na

incidência do fenômeno entre 1951-52 cujos 940mil km<sup>2</sup> definiam a área de ação do DNOCS. Os Planos Diretores da SUDENE, os resultados do grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe-SUDENE em cooperação técnica francesa (1962-64); o Plano Integrado para o Combate Preventivo aos Efeitos das Secas no Nordeste-MINTER(realizado após a seca de 1970-71); os Planos Diretos de Bacias Hidrográficas como Paraíba, Acaraú, Apodi-mossoró, Piranhas-açu, na década de 70, iriam incorporando uma vasta gama de conhecimentos, ainda que acompanhada de resultados bastante exíguos. O Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste-PLIRHINE-SUDENE(1980) avança ao buscar integrar os conhecimentos disponíveis, buscando uma compatibilização espacial e temporal de ofertas e demandas hídricas. Em 1994 o Projeto Áridas incorpora a concepção de desenvolvimento sustentável da Região Nordeste nas suas dimensões econômica, social e ambiental dentro de uma visão política de longo prazo, que inclui o planejamento participativo da sociedade civil. Com a nova Constituição de 1988, o acesso à água passa a ser regulamentado pela lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e embasa legalmente a implementação de Planos Estaduais de Recursos Hídricos-PERH, que se encontravam em marcha. (Smith, 2000).

No final dos anos 80, o Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS elaborou um projeto de integração das águas do São Francisco com o semi-árido setentrional, cuja finalidade era fortalecer a atividade agrícola na região através da captação de 15% da vazão do “Velho Chico”, apelido dado ao Rio São Francisco. Esse estudo foi retomado e detalhado em 1994, prevendo retirar uma vazão de cerca de 7,5 % da vazão regularizada pela barragem de Sobradinho (Coelho, 2004).

O atual projeto, elaborado e defendido pelo Ministério da Integração, conta com estudos técnicos mais elaborados e estima-se uma transferência média de 2,3% da vazão regularizada do rio São Francisco, sendo que, uma média de 42,4m<sup>3</sup>/s destinam-se as bacias do Ceará, do Paraíba e do Rio Grande do Norte, e cerca de 21,1 m<sup>3</sup>/s ao Estado de Pernambuco, tendo um total de 63,5 m<sup>3</sup>/s. A redução da vazão prevista em 1994 ocorreu devido a flexibilidade de retirada de água, variando de nenhuma a 127 m<sup>3</sup>/s (RIMA, 2004).

Logo, percebe-se que a história da transposição dividiu-se em dois períodos: antes da década de 1980, quando havia estudos, porém impossibilidade de realizá-lo devido a inúmeras limitações para implementação desses projetos, e com isso, buscava-se outras soluções de mitigar a seca no Nordeste; depois da década de 1980, com o avanço da engenharia,

aprofundaram-se os estudos até então existentes no âmbito do Governo Federal, analisando-se sua viabilidade sócio-econômica e ambiental.

A Figura 2.2 mostra a localização da Bacia do Rio São Francisco.



Fonte: RIMA (2004)

**Figura 2.2 – Mapa da Bacia do Rio São Francisco**

### 2.3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO

A situação hídrica da região Nordeste a ser beneficiada com o projeto é vulnerável, decorrente em larga escala de deficiente gerenciamento dos recursos hídricos, ao longo de tantos anos. Segundo a ONU, a mínima disponibilidade hídrica per capita para mantimento de vida sustentável é de 1500 m<sup>3</sup>/hab.ano e a disponibilidade no Nordeste setentrional é de apenas 450 m<sup>3</sup>/hab.ano, ou seja, inferior a 1/3 deste mínimo (Silva, 2005).

A falta d'água, hoje, é um empecilho de grandes proporções para o desenvolvimento humano de milhões de brasileiros. O Projeto de Integração apresenta uma solução eficiente e estruturante para aumentar a oferta de água com garantia para uma população e toda uma região que sofrem com a seca (RIMA, 2004).

A transposição consiste, na integração da bacia do maior rio perene da região Nordeste às bacias dos rios intermitentes de Pernambuco, da Paraíba, do Rio Grande do Norte e do Ceará (Silva, 2005).

Os objetivos básicos do projeto são (RIMA, 2004):

- a) aumentar a oferta de água, com garantia de atendimento ao Semi-Árido;
- b) fornecer água de forma complementar para açudes existentes na região, viabilizando melhor gestão da água;
- c) reduzir as diferenças regionais causadas pela oferta desigual da água entre bacias e populações.

O projeto prevê o desvio médio de 2,3% da vazão Regularizada do Rio São Francisco, nos pontos de captação. Esta vazão desviada beneficiará as seguintes bacias:

- a) do rio Jaguaribe, no Ceará;
- b) do rio Piranhas-Açu, na Paraíba e Rio Grande do Norte;
- c) do rio Apodi, no Rio Grande do Norte;
- d) do rio Paraíba, na Paraíba;
- e) dos rios Moxotó, Terra Nova e Brígida, em Pernambuco, na bacia do rio São Francisco.

O projeto consiste em dois sistemas independentes, denominados Eixo Norte e Eixo Leste, que capta água do rio São Francisco entre as barragens de Sobradinho e Itaparica, no estado de Pernambuco. O eixo Norte tem seu ponto de captação na cidade de Cabrobó e o eixo Leste capta água no próprio reservatório de Itaparica.

O Eixo Norte é composto por, aproximadamente, 402 km de canais artificiais, 4 estações de bombeamento, 22 aquedutos, 6 túneis e 26 reservatórios de pequeno porte. Nesse eixo, ainda estão previstas duas pequenas centrais hidrelétricas junto aos reservatórios de Jati e Atalho, no Ceará, com, respectivamente, 40 MW e 12 MW de capacidade (Gomes, 2005).

O Eixo Leste previsto para uma capacidade máxima de 28m<sup>3</sup>/s, e vazão contínua de 10m<sup>3</sup>/s disponibilizada para consumo humano, tem cerca de 220 km, e se estende até o rio Paraíba, na Paraíba, tendo vazão média de 18,3 m<sup>3</sup>/s. Esse Eixo levará água para o açude Poço da Cruz (PE) no Rio Moxotó e para o rio Paraíba, que é responsável pela manutenção dos níveis do açude Epitácio Pessoa (PB), também chamado de Boqueirão. Esse Eixo, chamado também de Trecho V, compõe-se de 5 estações de bombeamento, 5 aquedutos, 2 túneis e 9 reservatórios de pequeno porte.

A vazão firme do projeto, outorgada pela ANA, nos dois eixos, a qualquer tempo, é de 26,4 m<sup>3</sup>/s, correspondente à demanda projetada para o ano de 2025 é garantida por lei. Segundo a Lei 9.433 de 1997, a prioridade de alocação hídrica é o consumo humano e a dessedentação animal. Portanto, deve-se atender este tipo de consumo antes de qualquer outro, inclusive a irrigação.

No estado da Paraíba, o Eixo Leste do Projeto São Francisco permitirá o aumento da garantia da oferta de água para os vários municípios da bacia do Paraíba, atendidos pelas adutoras do Congo, do Cariri, Boqueirão e Acauã. O Eixo Norte possibilitará o abastecimento seguro de diversos municípios da bacia do Piranhas, atendidos por sistemas adutores tais como Adutora Coremas / Sabugi e Canal Coremas / Souza (MI, 2007).

De acordo com dados do Ministério da Integração (2007), ao interligar os açudes estratégicos do Nordeste Setentrional com o rio São Francisco, o projeto irá permitir benefícios aos estados receptores da transposição. Na Paraíba destacam-se:

a) o aumento da garantia da oferta hídrica proporcionada pelos maiores reservatórios estaduais (Epitácio Pessoa, Acauã, Eng<sup>o</sup> Ávidos) responsáveis pelo suprimento de água para os diversos usos da maior parte da população das bacias do Paraíba e Piranhas;

b) a redução dos conflitos existentes na Bacia do Piranhas-Açu, entre usuários de água deste estado e do estado do Rio Grande do Norte e entre os usos internos do próprio estado;

c) a redução dos conflitos existentes na Bacia do Paraíba, fundamentalmente sobre as águas do Açude Epitácio Pessoa, insuficientes para os seus diversos usos e tendo como umas das conseqüências o estrangulamento do desenvolvimento sócio-econômico de Campina Grande, um dos maiores centros urbanos do interior do Nordeste (cerca de 400 mil habitantes);

d) uma melhor e mais justa distribuição espacial da água ofertada pelos açudes Coremas e Mãe D'Água, beneficiando populações da região do Piancó, uma vez que com o Projeto de

Integração do São Francisco estes reservatórios estariam aliviados do atendimento de demandas dos trechos do rio Piranhas, situados a jusante destes reservatórios;

e) o abastecimento seguro para 127 municípios (2,5 milhões de pessoas em 2025), através do aumento da garantia da oferta de água dos açudes Epitácio Pessoa, Acauã e Engenheiro Ávidos, e da perenização de todos os trechos dos rios Paraíba e Piranhas, em associação com uma rede de adutoras que vem sendo implantada há alguns anos (mais de 600 km implantados).

A Figura 2.3 mostra a localização do Projeto de Integração do Rio São Francisco com os seus respectivos eixos e trechos.



Fonte: RIMA (2004).

**Figura 2.3 – Localização do Projeto de Integração do Rio São Francisco.**

O Rio São Francisco deve ser visto não como um problema, mas como uma extraordinária dádiva de Deus, com grandes potencialidades e que precisa ser bem utilizado em benefício de todos os brasileiros (Suplicy, 2007).



### **2.3.3 – SINERGIA HÍDRICA PROPORCIONADA PELA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Devido às incertezas hidrológicas sobre futuros anos secos, normais e úmidos, os açudes do Nordeste Setentrional acumulam o máximo de água em seu período de chuvas, quando não acontece uma seca prolongada, sendo esse o único meio de garantir o suprimento de água para diversos usos na região. Por outro lado, quando ocorre excesso de chuva, ou ainda quando elas ocorrem em anos consecutivos, estando os reservatórios em suas capacidades máximas, a água é usada com muita parcimônia devido ao medo da seca e, portanto, existe a tendência de reduzir o seu uso e manter a água nos reservatórios o maior tempo possível, por isso aumentam-se as perdas evaporativas e por vertimento.

A interligação de bacias do semi-árido do Nordeste setentrional com o Rio São Francisco abre possibilidades de otimização do uso das águas locais armazenadas nos grandes reservatórios receptores construídos. A operação do projeto de transposição, segundo determinados critérios, pode minimizar efeitos climáticos como incertezas de ocorrência de secas, elevadas taxas de evaporação e alta variabilidade hidrológica (Sarmiento, 2005).

De acordo com Molinas & Sarmiento (1999), a operação de reservatórios pertencentes a uma mesma bacia hidrográfica, ou vinculados mediante obras de adução, apresenta ganhos adicionais quando os reservatórios são operados de forma conjunta. Nesse contexto, vai permitir que a quantidade de água dos açudes antes perdida por evaporação e sangramento seja muito menor, resultando num ganho de água na região, sendo esse ganho denominado de sinergia hídrica. Supõe-se que, com a disponibilidade de água da transposição, é possível operar de maneira menos conservadora o açude, utilizando-se os volumes armazenados sem a preocupação de seu esvaziamento e possível colapso para o abastecimento humano (Righetto, 2000).

O projeto de Integração de Águas do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional tem como objetivo prioritário viabilizar o aproveitamento ótimo das disponibilidades hídricas das bacias receptoras, que, quando interligada com uma fonte perene, reduz a variabilidade das afluências aos reservatórios e, conseqüentemente, a ocorrência de ganhos sinérgicos de operação (Molina & Sarmiento, 1999).

O ganho sinérgico significa um recurso hídrico das próprias bacias beneficiadas que se disponibiliza em razão da garantia que o sistema de transposição oferece à gestão dos

reservatórios receptores. Não se trata, portanto, de água transposta do Rio São Francisco, mas uma redução das perdas d'água das próprias bacias receptoras (MI, 2000).

O Relatório Síntese de Viabilidade técnico-econômica e Ambiental – MI (2000), trata de três níveis distintos em que a sinergia proporcionada pelos recursos hídricos locais das bacias beneficiárias se manifesta:

- a) A primeira sinergia é alcançada através do ganho de água oriunda das próprias bacias receptoras, que deixa de ser evaporada ou sangrada nos grandes açudes, podendo ser operados sem o receio de que falte água no futuro;
- b) A segunda sinergia hídrica é alcançada através da melhoria de qualidade da água dos açudes, renovando-as com maior frequência e reduzindo assim a salinidade;
- c) A terceira sinergia traduz-se por ser um indutor da outorga e cobrança pela água bruta nas bacias beneficiárias, pois na medida em que parcela dessa água terá que ser paga pelos beneficiários, para garantir a sustentabilidade operacional do Projeto, os usuários tendem a reduzir os desperdícios e utilizar melhores tecnologias.

A sinergia hídrica considerada nessa pesquisa é conceituada como a parcela de acréscimo do volume alocado para as demandas ou na disponibilidade hídrica do sistema que ultrapassa o acréscimo do aporte de águas decorrente do volume transposto do Rio São Francisco. Essa parcela é proveniente do melhor aproveitamento das águas que fluem naturalmente aos reservatórios que eram, antes do aporte de uma vazão exógena, não alocados e eram transformados em vertimentos e evaporações.

Diante do polêmico Projeto de Transposição do rio São Francisco, muitos estudos foram realizados e alguns autores avaliaram os benefícios oriundo da transposição para as bacias receptoras, dentre os quais podemos citar alguns estudos:

Molinas, et al. (1995), afirmaram que o Projeto de Transposição possui dois grandes objetivos: aumentar a oferta hídrica e incrementar significativamente a garantia do suprimento de água. A partir dos índices de análises RBCH (índice que traduz benefício sob a ótica hidrológica) e RG (índice que exprime ganho real em vazão regularizada), identificaram as tendências do sistema de reservatórios sob a influência de uma vazão transposta, e os resultados apontaram para um ganho extraordinário em termos de incremento da vazão regularizada, devido ao efeito sinérgico do uso racional do reservatório como elemento compensador. Concluíram que o projeto de Transposição, sob os índices analisados, foi

eficiente e comentam sobre a importância de pesquisar novas regras de operação a fim de levar a economias ainda maiores na vazão transposta como no gasto de energia.

Molinas e Sarmiento (1999), nesse estudo, argumentaram que a operação de reservatórios sujeitos a adução de vazões transpostas apresentaram comportamento diferenciados, pois podem ser melhor operados com ganhos consideráveis nas vazões regularizadas. Trataram dos objetivos desejados no aproveitamento dos recursos hídricos das bacias receptoras de águas da transposição do rio São Francisco, que são de maximizar a oferta hídrica com o mínimo tempo de acionamento do sistema de bombeamento da transposição e minimizar as perdas por evaporação ou vertimento nos reservatórios locais, fazendo uso de vazões transportas complementares de modo a obter melhor rendimento.

Righetto et al. (2000) apresentaram estudo preliminar da simulação operacional do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, RN, no sentido de verificar a magnitude da sinergia hídrica deste reservatório, quando se dispõe de vazões firme advinda de fonte exógenas. Os resultados preliminares mostraram que a sinergia hídrica para esse estudo obteve pequena magnitude em torno de  $3\text{m}^3/\text{s}$ , considerando o ganho médio ao longo de todo o período de simulação.

No estudo de Farias et al. (2005) foram analisados de que forma a adução de vazões exógenas às bacias receptoras das águas transportas do rio São Francisco é capaz de prover ganhos de sinergia hídrica aos sistemas integrados de reservatórios, proveniente do melhor aproveitamento das afluições naturais ao sistema, sendo concretizado pela redução dos volumes vertidos e evaporados dos reservatórios. Foram analisados o reservatório Castanhão e 15 reservatórios integrantes do Eixo Sul da transposição do rio São Francisco. Concluíram que a oferta, sempre que necessária, de uma água extra a tais bacias ou sistemas pode melhorar o aproveitamento das afluições naturais, transformando substanciais volumes antes vertidos e evaporados, em vazões regularizadas, e ainda frisam a importância da utilização de um modelo de simulação eficaz computacionalmente, que trabalhe todo o sistema de forma integrada.

Sarmiento (2005b) argumenta que um dos pontos de discordância entre defensores e opositores ao projeto de transposição do rio São Francisco é o custo da água para seu uso econômico, em particular a irrigação. Nesse contexto o citado autor realizou simulações conjuntas de operação de reservatório, levando em consideração a bacia do rio São Francisco e as bacias receptoras do semi-árido setentrional, sendo as mesmas utilizadas para o cálculo

do custo da água para fins de irrigação e ressaltou as vantagens de utilizar a maximização da sinergia hídrica como diretriz na operação do sistema. Portanto, com a possibilidade de operação sinérgica com reservatórios receptores do semi-árido setentrional, os custos da água para irrigação através dos Eixos Norte e Leste podem ser superiores em 30% a 50% à irrigação no São Francisco, dependendo do eixo e do reservatório receptor. Concluiu ainda que o custo unitário econômico da água transposta não inviabiliza seu uso na irrigação no semi-árido setentrional.

## **2.4 - ALGUMAS EXPERIÊNCIAS DE TRANSPOSIÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO**

Nesse item são abordadas algumas experiências de transposição no Brasil e ao redor do mundo, dentre as quais podemos destacar:

### **2.4.1 – No Brasil**

#### **✓ Piracicaba para a Grande São Paulo**

O rio Piracicaba é um rio brasileiro do estado de São Paulo. É o maior afluente em volume de água do rio Tietê. É também um dos mais importantes rios paulistas e responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana de Campinas e parte da Grande São Paulo.

Por volta de 1960, o governo paulista decidiu reforçar o abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo e construiu diversas represas nas nascentes da bacia hidrográfica do Piracicaba, formando assim o Sistema Cantareira, maior responsável pelo abastecimento de água de São Paulo que capta e desvia águas dos formadores do rio Piracicaba, reduzindo assim o nível de água do rio e de seus afluentes.

Por volta de 1980, a industrialização e metropolização de Campinas levam a uma crescente contaminação das águas já escassas do Piracicaba e o rio chega ao século XXI como um dos mais contaminados do país. Nos últimos anos, a criação de grupos de pressão, maior fiscalização e negociações quanto a reversão das águas feita pelo Sistema Cantareira, além da construção de Estações de Tratamento de Esgoto em algumas cidades evitaram que o quadro se agravasse ainda mais, porém o Piracicaba continua registrando águas impróprias para consumo humano e animal em grande parte do seu curso.

### ✓ **Paraíba do Sul para Rio de Janeiro**

O Rio Guandu era um rio de pequeno porte há alguns anos atrás. Mas se tornou um rio bastante caudaloso, sendo primeiramente usado para a produção de energia elétrica e hoje é voltado principalmente para o abastecimento de água da RMRJ. Sua água abastece cerca de 80% da população do Grande Rio.

Suas nascentes localizam-se na Serra do Mar, em diversos municípios. Alguns riachos se unem na represa de Ribeirão das Lajes, um dos formadores do rio Guandu, que é importante para a regulação da vazão e do nível da água do rio e tem papel importante na economia local. Depois de passar pela represa, o Ribeirão das Lajes, recebe as águas do Rio Paraíba do Sul através de transposição em Barra do Piraí pela estação elevatória de Santa Cecília e, depois de receber as águas do Rio Santana, passa finalmente a denominar-se Rio Guandu.

Atualmente, boa parte de sua água vem de outro importante manancial: o rio Paraíba do Sul. Na usina hidrelétrica da Light, a jusante de Santa Cecília, é feita a transposição da água, quando o Paraíba do Sul cede cerca de 60% de suas águas para o Guandu, através das canalizações forçadas das usinas. Essa transposição encontra as águas do rio Ribeirão das Lajes e desce para formar o Guandu e abastecer o Rio de Janeiro.

### ✓ **Jaguaribe para Fortaleza**

Com a necessidade de assegurar água para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), após a severa seca de 1991-1993, surgiu o Canal do Trabalhador, que liga o médio Jaguaribe, no território do município de Itaiçaba, com o Açude Pacajus, no município do mesmo nome, tendo uma extensão de 103 quilômetros.

Construído em tempo recorde, o Canal do Trabalhador foi uma obra emergencial de transposição de águas do Rio Jaguaribe para o sistema hídrico Pacoti-Riachão-Gavião que abastece a RMF.

Além da população da RMF que foi extremamente beneficiada com este Canal, as populações de outros quatro municípios (Palhano, Itaiçaba, Beberibe e Aracati) também se beneficiaram com tal obra, principalmente o município de Beberibe, onde o Canal permitiu a irrigação de 1.066 hectares.

Finalmente, vale salientar que os Açudes Pacoti-Riachão-Gavião, as principais fontes de suprimento de água da RMF, disponibilizava uma vazão mínima regularizada de 4,42m<sup>3</sup>/s

antes da construção do Canal do Trabalhador. Com a utilização do açude Pacajus e do Canal do Trabalhador, a capacidade total instalada do Sistema passou a ser de 10,42m<sup>3</sup>/s.

O Estado do Ceará na busca do desenvolvimento socioeconômico auto-sustentável, visou a instalação de outros empreendimentos de grande porte, onde nasceu a necessidade de Construção do Complexo Industrial e Portuário do Pecem – CIPP e para assegurar a oferta adequada de água para esse complexo, em 1999, começaram os estudos para a construção do Canal da Integração.

O Canal da Integração é o complexo de interligação hídrica ligando o Açude Castanhão, no Município de Jaguaribara, região do Médio Jaguaribe, às bacias Hidrográficas da RMF. Este canal constitui-se de um complexo de estação de bombeamento, canais, sifões, adutoras e túneis com a extensão de 255km.

O Canal da Integração tem seu início imediatamente a jusante da barragem do Açude Castanhão, derivando sua vazão diretamente da tubulação da tomada de água do respectivo reservatório. A transposição é realizada até o Açude Pacoti, reservatório integrante do Sistema de Abastecimento de Água da RMF e daí ao reservatório Gavião, onde terminará o sistema adutor principal. Este percurso soma, aproximadamente, 200 km. O prolongamento do sistema adutor para a zona oeste de Fortaleza, entre o Açude Gavião e o Município do Pecem, cobre um trecho de 55 km.

#### **2.4.2 – No Mundo**

##### **✓ Mar de Aral, Ásia Central**

Situado entre o Uzbequistão e o Cazaquistão, na Ásia Central, o Mar de Aral já foi o quarto maior mar interior da Terra, com 66 mil quilômetros quadrados. O desvio das águas dos rios Amu Daria e Sir Daria para projetos de irrigação das plantações de algodão, a partir de 1939 pelo governo da extinta União Soviética, consumiu 90% da água que chegava ao Aral, reduzindo-o a um terço do tamanho original. O que era fundo do mar transformou-se em deserto, com sérios impactos sobre a economia da região, especialmente a pesqueira. A população ainda tem que conviver com doenças resultantes das toneladas de área, sal e pesticidas espalhadas pelos ventos.

##### **✓ Tagus-Segura, Espanha**

Concluída em 1978, a obra tem 286 km de extensão e vazão média transportada de 33 m<sup>3</sup>/s. Apresentada com um exemplo de transposição bem-sucedida para a irrigação e o abastecimento urbano no EIA-RIMA elaborado pela Jaakko Poyry-Tahal, os críticos afirmam

que o projeto não conseguiu atingir o objetivo principal e induziu uma demanda ainda maior de água, necessitando de novos projetos de transposição a serem construídos. Também apresenta problemas de salinização do solo.

✓ **Rio Snowy, Austrália**

Iniciado em 1949, o projeto conta com 16 barragens, sete estações hidrelétricas, 145 km de túneis e 80 km de aquedutos. O custo inicial da obra, destinada à geração de energia e irrigação, foi orçado em US\$ 630 milhões. O projeto de transposição proporcionou um incremento na oferta de empregos na região, estimulou o turismo. Em contrapartida, houve conflitos entre as regiões doadora e receptora, e atualmente a transposição demanda novas soluções para suprimento de água, como poços, reutilização e dessalinização.

✓ **Colorado-BigThompson, Estados Unidos**

Construído em 1938, envolve o deslocamento das águas do Rio Colorado para o Rio Big Thompson. São 29 cidades beneficiadas e 630 mil acres de terra irrigados. Há problemas decorrentes de conflitos sobre o direito das águas entre os estados de fronteira, problemas técnicos ambientais, como falha de uma das barragens. Risco à vida de certas espécies de aves e peixes locais.

## **Capítulo III**

# **A CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

---



## CAPÍTULO III

### A CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba tem uma área de 20.071,83 Km<sup>2</sup>, que corresponde a 34% do território paraibano. As características físicas da bacia do Rio Paraíba marcam a extensão da região que abrange: desde o litoral paraibano até o planalto da Borborema (região semi-árida). Trata-se de uma bacia estadual (toda rede de drenagem inserida em território paraibano). A Bacia integra as mesorregiões da Borborema, Agreste Paraibano e Litoral Paraibano.

As nascentes do Rio Paraíba ficam na mesorregião da Borborema, microrregião do Cariri Ocidental, no município de Sumé, no ponto de confluência dos rios do Meio e Sucurú. A desembocadura no Oceano Atlântico situa-se na altura do município de Cabedelo, próximo a João Pessoa.

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba, com uma área de 20.071,83 km<sup>2</sup>, compreendida entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" Oeste de Greenwich, é a segunda maior do Estado da Paraíba, pois abrange 38% do seu território, abrigando 1.734,470 habitantes que correspondem a 52% da sua população total. Além da grande densidade demográfica, nela estão incluídas as cidades de João Pessoa, capital do estado, e Campina Grande, seu segundo maior centro urbano (PERH, 2004).

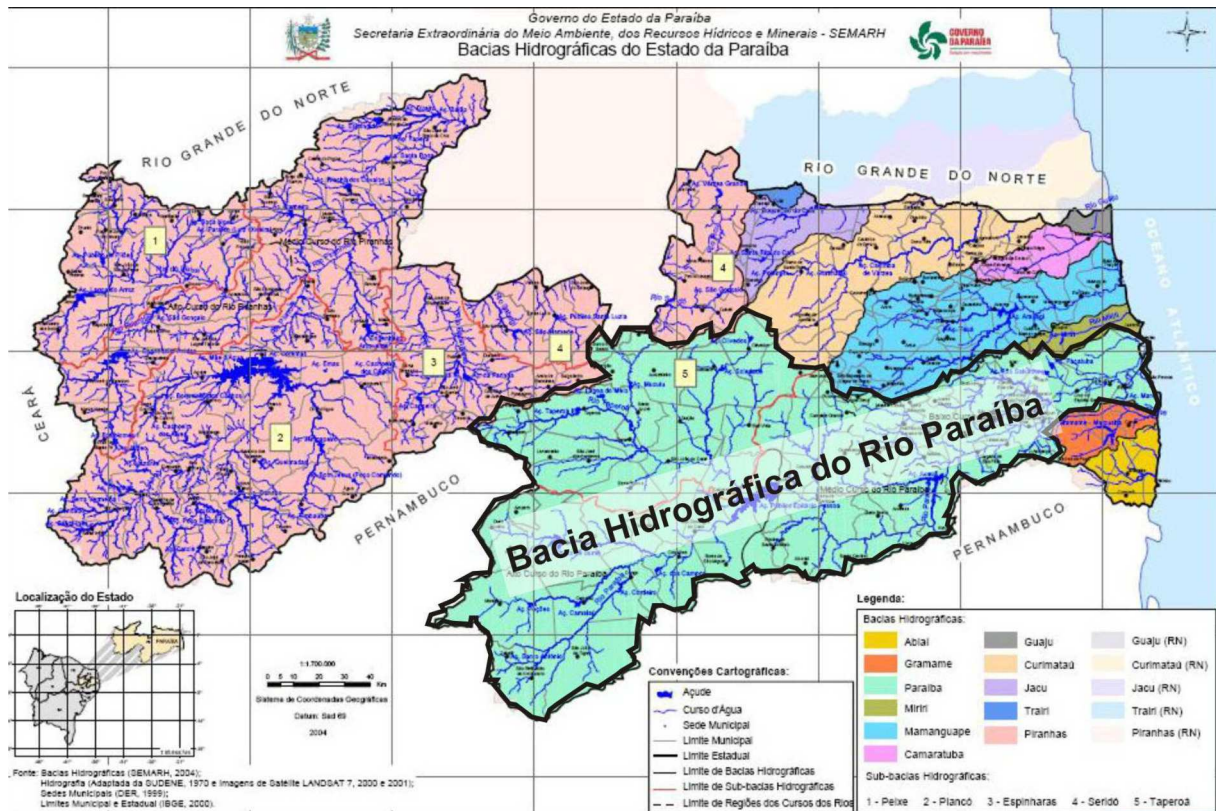
Por intermédio dos Governos Federal e Estadual, foram construídos na área da bacia vários açudes públicos, que são utilizados no abastecimento das populações e rebanhos, irrigação, pesca e em iniciativas de lazer e turismo regional. Também foram perfurados e instalados poços públicos que abastecem as comunidades rurais, mas a má qualidade e baixa quantidades das águas subterrâneas dos poços na região do cristalino restringem a sua utilização. Diferentemente dos poços na região do cristalino, os poços na região sedimentar localizados na cidade de João Pessoa são operados com boa qualidade.

Em razão da grande extensão geográfica e das diversidades de clima e das características físicas, sua caracterização é feita através das sub-divisões: sub-bacia do rio

Taperoá e as regiões correspondentes ao Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Paraíba. Entre as características físicas gerais da bacia, destacam-se (PDRHP/PB, 2001):

- a) Regime pluviométrico mensal e anual irregular, com a concentração das precipitações em poucos meses do ano (fevereiro a julho) e ainda com ocorrência de anos muitos secos e outros muitos chuvosos. A precipitação média da região é em torno de 350 a 1800mm, aumentando no sentido oeste para leste;
- b) A bacia na sua parte Oeste é caracterizada, segundo a classificação de Köeppen, como do tipo BSw'h', isto é, semi-árido quente, com precipitações médias em torno de 400mm. Na sua parte leste, o clima é do tipo Aw', caracterizado como semi-úmido, com temperaturas médias mínimas e máximas, respectivamente, variando entre 18 a 22°C e 28 a 31°C;
- c) Quanto à evaporação, os dados obtidos a partir de tanque classe A, variam entre 2.200 a 3.000 mm, aumentando no sentido oeste para leste;
- d) A umidade relativa do ar compreende-se entre 60% a 75%, observando-se que os valores máximos ocorrem, geralmente, no mês de junho, e os mínimos no mês de dezembro;
- e) A insolação nesta região apresenta variações nos valores médios mensais de janeiro a julho, cuja duração efetiva do dia é de 7 a 8 horas diárias, e de agosto a dezembro, da ordem de 8 a 9 horas diárias;
- f) Cursos d'água intermitentes, com exceção da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba;
- g) O relevo da região se caracteriza por se apresentar de ondulado, forte ondulado a montanhoso;
- h) Com relação à geologia, a região da bacia do Rio Paraíba apresenta uma predominância do cristalino sobre os terrenos sedimentares, com ocorrência de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas, com exceção da Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

A seguir apresenta a Figura 3.1 onde mostra a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, no estado da Paraíba.



**Figura 3.1 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba**

### 3.1.1 - SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ

A Sub-Bacia do rio Taperoá situa-se na parte central do Estado da Paraíba, conformando-se sob as latitudes  $6^{\circ} 51' 47''$  e  $7^{\circ} 34' 33''$  Sul e entre as longitudes  $36^{\circ} 0' 10''$  e  $37^{\circ} 14' 0''$  a Oeste de Greenwich. Seu principal rio é o Taperoá, de regime intermitente, que nasce na Serra do Teixeira e desemboca no rio Paraíba, no Açude de Boqueirão (reservatório Presidente Epitácio Pessoa). Drena uma área aproximada de 5.661,45 km<sup>2</sup>. Recebe contribuições de cursos d'água como os rios São José dos Cordeiros, Floriano, Soledade e Boa Vista e dos riachos Carneiro, Mucuí e da Serra.

A vegetação natural dominante na área da Sub-Bacia do rio Taperoá é de caatingas hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. As áreas desmatadas e utilizadas para a agricultura são, em geral, ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão além de milho e feijão.

### 3.1.2 - REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA

É uma região localizada na parte sudoeste do Planalto da Borborema, no Estado da Paraíba, entre as latitudes 7°20'48'' e 8°18'12'' Sul e entre as longitudes 36°7'44'' e 37°21'22'' a Oeste de Greenwich. Drena uma área de aproximadamente 6.717,39 km<sup>2</sup> e possui como principal rio o Paraíba, que nasce na confluência dos rios Sucurú e do Meio no município de Sumé. Além dos rios do Meio e Sucurú, que são afluentes pela margem esquerda, nessa região o rio Paraíba recebe as contribuições dos rios Monteiro e Umbuzeiro, pela margem direita.

Os cinco principais açudes públicos da bacia do rio Paraíba são: Epitácio Pessoa com capacidade de 411x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, Sumé com capacidade de 44,86x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, Cordeiro com capacidade de 69,96x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, Poções com capacidade de 29,86x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> e Camalaú com capacidade de 46,43x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>. Destes, o maior é o açude Epitácio Pessoa (PDRHP-PB 2001).

A bacia do Alto Curso do rio Paraíba-PB possui clima semi-árido quente, com a estação seca atingindo um período que compreende de 9 a 10 meses. O regime pluviométrico na bacia apresenta precipitações anuais que variam entre 350 e 600 mm, podendo atingir em anos muito chuvosos alturas maiores que 800mm. Os totais anuais se concentram em um período de quatro meses, geralmente de Fevereiro a Maio.

As temperaturas mensais mínimas variam de 18 a 22°C, entre os meses de julho e agosto, e máximas de 28 e 31°C, entre os meses de novembro e dezembro. Os totais anuais da evaporação, medidos em tanque Classe A, variam entre 2500 a 3000 mm. A umidade relativa do ar mensal varia de 60 a 75%, observando-se que os valores máximos ocorrem, geralmente, no mês de junho e os mínimos em dezembro. A insolação varia da seguinte forma: de janeiro a julho a duração efetiva do dia é de 7 a 8 horas diárias, e de agosto a dezembro é de 8 a 9 horas diárias.

Os solos predominantes na bacia do Alto Curso do rio Paraíba - PB são do tipo Bruno não-cálcico, que cobrem todo o cristalino existente na área da bacia. Este tipo de solo se caracteriza por ser pouco espesso pedregoso e com permeabilidade moderada.

A vegetação predominante na região da bacia é a do tipo caatinga. As espécies dominantes são: Caroá-Catingueira, Coroa de Frade, Faveleiro, Umburana, Umbuzeiro, Juazeiro, Jurema, Macambira, Marmeleiro, Mimosa, Mofumbo, Oiticica, Pinhão Bravo, Velame, e Xiquexique. Nas áreas desmatadas e utilizadas na agricultura predominam as culturas de palma forrageira, agave, algodão além de milho e feijão.

Com relação ao relevo da região, encontra-se inserido na escarpa sudoeste do Planalto da Borborema e apresenta-se com os níveis mais altos superiores a 600 metros em um relevo ondulado, forte ondulado e em algumas áreas também montanhoso.

A geologia é constituída de compartimentos geológicos classificados como formações oriundas do proterozóico e do arquezóico, notando-se quartzitos, gnaisses e migmatitos, além de micaxistos e litologia associada ao complexo gnáissico. Há também ocorrência de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas (PDRHP-PB 2001).

### **3.1.3 - REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA**

A região do Médio Curso do rio Paraíba situa-se ao sul do Planalto da Borborema no Estado da Paraíba, entre as Latitudes 7°3'50" e 7°49'13" sul, e as Longitudes 35°30'15" e 36°16'38" a Oeste de Greenwich. Está limitada, ao sul, com o Estado de Pernambuco, a oeste, com a bacia do Taperoá e com a região do Alto Curso do rio Paraíba, e a leste, com a Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

É drenada pelo Médio Curso do rio Paraíba. Drena uma área aproximada de 3.760,65 km<sup>2</sup>. Recebe contribuições de cursos d'água como os rios Ingá, São Pedro e Catolé além do riacho Bodocongó.

A vegetação natural dominante é do tipo caatingas hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. As áreas desmatadas e utilizadas para a agricultura são em geral ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão além de milho e feijão.

A climatologia da região possui uma variação de temperatura média mínima na bacia em torno de 18 a 22°C, sendo os valores mínimos ocorridos nas regiões mais altas do Planalto da Borborema. Possui temperatura máxima variando entre 28 a 31°C nos meses de novembro e dezembro. De acordo com os dados de evaporação obtidos a partir do tanque classe A para essa região, a evaporação anual oscila em torno de 1.600 e 3.000 mm. Com relação aos dados pluviométricos demonstram que a região apresenta precipitação média anual variando entre 600 e 1.100 mm, com valores decrescentes de leste para oeste.

### **3.1.4 - REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA**

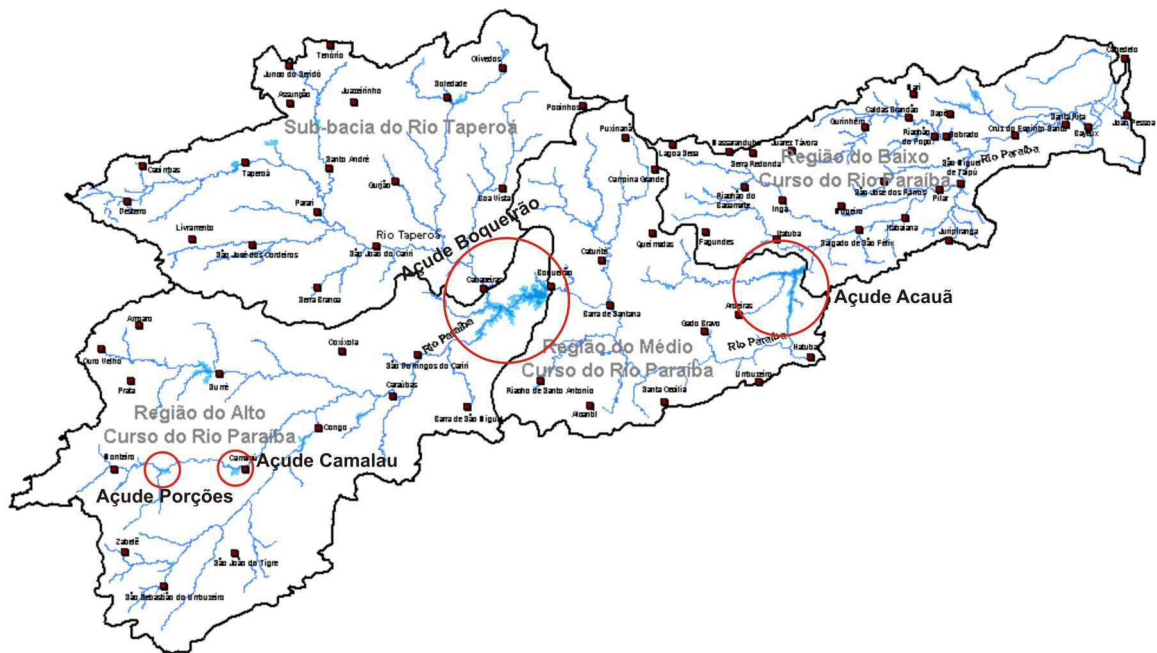
A região situa-se na parte litorânea do estado da Paraíba, conforma-se sob as latitudes  $6^{\circ}55'13''$  e  $7^{\circ}30'20''$  Sul e entre as longitudes  $34^{\circ}47'37''$  e  $35^{\circ}55'23''$  Oeste de Greenwich. É drenada pelo Baixo Curso do rio Paraíba que deságua no Oceano Atlântico na Cidade de Cabedelo e tem como principal afluente o rio Paraibinha. Esta drena uma área de  $3.925,41\text{km}^2$ .

A vegetação natural que dominava a área era constituída da Mata Atlântica e ecossistemas associados, ou seja, manguezais, campos de várzeas e formações mistas dos tabuleiros, cerrados e restingas. No entanto, ao longo do processo de colonização e ocupação das terras, quase toda a vegetação natural foi sendo indiscriminadamente retirada e substituída pelas culturas de cana-de-açúcar, abacaxi, mandioca, entre outras de caráter intensivo e extensivo. Atualmente restam somente alguns pequenos trechos da mata atlântica e de seus ecossistemas.

### **3.2 – RESERVATÓRIOS SELECIONADOS PARA ESTUDO DA SINERGIA HÍDRICA**

Os reservatórios utilizados nessa pesquisa localizam-se no Alto e Médio Cursos do rio Paraíba, uns dos receptores das águas do Projeto de integração do rio São Francisco através do Eixo Leste, são eles: Porções, Camalaú, Boqueirão (Epitácio Pessoa) e Acauã. A Figura 3.2 mostra os reservatórios simulados.

Com o incremento das águas exógenas no Eixo Leste, que visa o aumento da garantia da oferta de água para os vários municípios da bacia do rio Paraíba atendidos pelas adutoras do Congo, Boqueirão e Acauã, houve a necessidade de simular regras operacionais integradas dos sistemas de reservatórios. O objetivo foi avaliar o comportamento operacional do sistema hídrico formado pelos reservatórios citados, analisando políticas operativas capazes de obter melhores rendimentos para os usos da água sobre a ótica da sinergia hídrica, através da redução dos percentuais de perdas por evaporação e vertimento nos reservatórios.



**FIGURA 3.2 – Localização dos reservatórios estudados**

### 3.2.1 AÇUDE DE PORÇÕES

O açude de Porções, localizado a uma latitude  $7^{\circ}55'S$  e a uma longitude  $37^{\circ}12'W$ , possui capacidade máxima de aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos. Foi construído com a finalidade de irrigação e abastecimento d'água da cidade de Monteiro, que possui uma população de aproximadamente 29.980 habitantes.

### 3.2.2 AÇUDE DE CAMALAÚ

O açude de Camalaú localizado no município de Camalaú, que possui uma população de aproximadamente 5.541 habitantes, apresenta uma capacidade máxima de 46 milhões de metros cúbicos e foi construído com a finalidade de abastecimento d'água da cidade de Camalaú. Entretanto hoje, além do abastecimento urbano, são desenvolvidas as atividades da piscicultura extensiva e irrigação.

### 3.2.3 BARRAGEM EPITÁCIO PESSOA (BOQUEIRÃO)

A bacia hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa encontra-se geograficamente localizada no centro de uma região, cercada por uma cordilheira fragmentada, entre as coordenadas  $07^{\circ}28'04''$  e  $07^{\circ}33'32''$  de latitude sul,  $36^{\circ}08'23''$  e  $36^{\circ}16'51''$  de longitude oeste, a 420 m de altitude. Trata-se de um reservatório de grande importância sócio-econômica na região

polarizada pela cidade de Campina Grande, no Estado da Paraíba, além de ser responsável pelo abastecimento de outras comunidades localizadas no compartimento da Borborema.

A contribuição de afluências para Boqueirão advém, principalmente, da sub-bacia do Rio Taperoá e da Região do Alto Curso do Rio Paraíba. Os cursos de águas naturais que cortam a região em estudo e que beneficiam de alguma forma e a produção agropecuária da região são os seguintes: Rio Paraíba, Riacho do Marinho Velho, Riacho da Perna, Riacho dos Canudos, Riacho da Ramada, Riacho da Relva e Riacho do Feijão.

A capacidade de acumulação deste açude vem diminuindo ao longo do tempo devido ao assoreamento de sua bacia hidráulica. A sua bacia de contribuição cobre uma área de 12.410 km<sup>2</sup>. Originalmente, o açude tinha usos previstos para: perenização do rio Paraíba, geração de energia elétrica, abastecimento d'água, irrigação e piscicultura, além de favorecer atividades de lazer e turismo. Os projetos de piscicultura e turismo aconteceram em pequena escala, enquanto os demais não foram implantados. Atualmente, a principal destinação de suas águas é para o abastecimento humano através dos seguintes sistemas adutores: Sistema Campina Grande, Sistema Adutor do Cariri e Sistema Canudos (desativado atualmente).

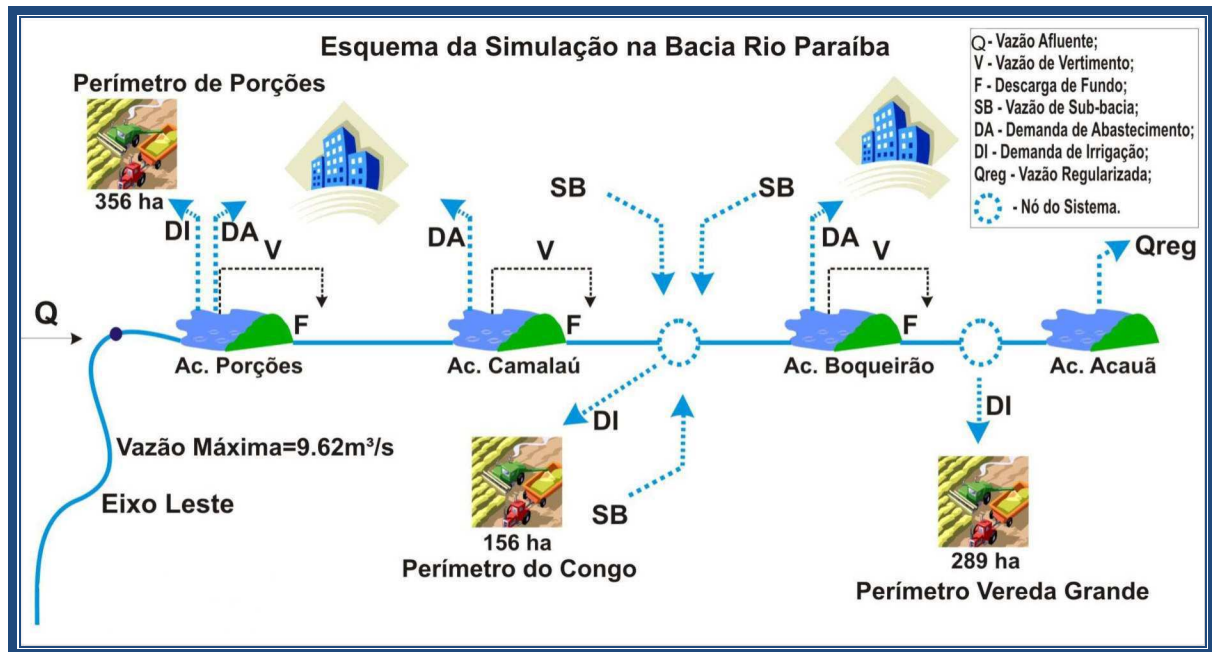
O Sistema Adutor de Campina Grande engloba o abastecimento das seguintes localidades: Campina Grande, Barra de Santana, Queimadas, Caturité, Pocinhos, Galante e São José da Mata. Já o Sistema Canudos é composto por: Riacho de Santo Antônio e Canudos. Por fim o Sistema Adutor do Cariri abrange os seguintes municípios: Boa Vista, Soledade, Juazeirinho, Seridó, São Vicente do Seridó, Pedra Lavrada, Cubatí, Boqueirão, Cabaceiras e Olivedos (AAGISA, 2004).

### **3.2.4 AÇUDE ARGEMIRO FIGUEIREDO (ACAUÃ)**

O açude Argemiro Figueiredo, conhecido popularmente por Acauã, localiza-se nas coordenadas 7°27'7"S de latitude e 35°34'22"W de longitude, no município de Itatuba e possui capacidade máxima de 253 milhões de metros cúbicos. Tem como finalidade de construção o aproveitamento hidroagrícola e ao abastecimento de água potável aos municípios da região da sua área de abrangência, principalmente a cidade de Campina Grande, que, rotineiramente, vinha sofrendo com o racionamento de água para o consumo.

O reservatório de Acauã visa o abastecimento urbano de cidades localizadas na bacia do Médio Curso do Rio Paraíba entre elas: Campina Grande, Itabaiana, Salgado de São Felix, Natuba e Itatuba, dando suporte ao reservatório de Boqueirão, com a vazão regularizada por Acauã, através de adutora (PERH, 2004).





**Figura 3.3 - Layout do sistema estudado**

### 3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HIDRÁULICAS DOS RESERVATÓRIOS

#### 3.3.1 PRECIPITAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

Os cálculos dos volumes precipitados sobre as bacias hidráulicas dos reservatórios foram efetuados a partir dos dados de precipitação para os reservatórios de Porções, Camalaú, Boqueirão e Acauã. Dados estes obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. Foram utilizados as médias mensais dos postos pluviométricos mais próximos possíveis dos reservatórios e são eles: Monteiro para o reservatório de Porções, Camalaú para o reservatório de Camalaú, Boqueirão para o reservatório de Boqueirão e Aroeiras para o reservatório de Acauã. Estes dados encontram-se na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Precipitação média para os reservatórios (mm)**

Precipitação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Monteiro	32,8	70,2	127,6	96,1	55,1	31,5	18,2	7,9	3,7	8,6	11,8	15,5
Camalaú	50,5	83,8	144,0	138,7	65,7	36,5	34,1	17,0	10,1	6,5	14,3	23,4
Boqueirão	27,5	54,2	81,5	98,4	57,4	56,2	55,5	20,7	12,2	4,6	6,8	16,0
Aroeira	35,7	48,7	92,6	108,3	74,6	74,3	88,8	39,3	22,5	9,4	9,8	25,5

#### 3.3.2 VAZÕES AFLUENTES AOS RESERVATÓRIOS

A contribuição de vazões para o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) advêm, principalmente, das sub-bacias do Alto Curso do rio Paraíba e do rio Taperoá. Os dados

fluviométricos foram disponibilizados pela AESA. Foram utilizadas séries pseudo-históricas de deflúvios afluentes aos reservatórios para um período de 56 anos, na escala mensal, obtidas mediante a aplicação do modelo MODHAC – Modelo Hidrológico Auto Calibrável. Estes dados estão apresentados nos Anexos de 1 a 4.

### 3.3.3 EVAPORAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

Os dados de evaporação média mensal considerados para os reservatórios de Porções e Camalaú foram obtidos do posto climatológico de Monteiro; já para o reservatório de Acauã foi considerada a evaporação do posto climatológico de Campina Grande. Esses dados encontram-se dispostos na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** – Evaporação média nas estações meteorológicas, em mm.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Monteiro	233	178	156	116	115	127	156	206	239	263	266	273
Campina Grande	147	133	108	88	103	64,9	73	105	126	154	151	165

Para o reservatório de Boqueirão, os dados de evaporação foram obtidos do posto Climatológico da Bacia Escola localizada em São João do Cariri-PB, no período de 1987-2006 e corrigidos através do coeficiente mensal do tanque classe A para a região de Boqueirão, segundo Oliveira et al.(2005). A Tabela 3.3 apresenta o coeficiente mensal do tanque classe A para o período de abril de 2002 a março de 2003 e a evaporação média mensal em Boqueirão.

**Tabela 3.3** – Evaporação média mensal e coeficiente mensal do tanque classe A

Mês	Coeficiente Tanque classe A	Evap. Média mensal (mm) S. J. Cariri	Evaporação Potencial (mm) Boqueirão
Jan	0,78	228,54	178,26
Fev	0,80	202,38	161,90
Mar	0,78	200,12	156,09
Abr	0,89	174,24	155,07
Mai	0,93	153,57	142,82
Jun	0,92	119,40	109,85
Jul	0,87	128,84	112,09
Ago	0,82	159,60	130,87
Set	0,76	197,16	149,85
Out	0,79	250,53	197,92
Nov	0,80	238,64	190,91
Dez	0,80	238,01	190,40
Anual		2291,03	1876,05

### 3.3.4 Demandas

#### 3.3.4.1 – ABASTECIMENTO HUMANO

Os dados das demandas para abastecimento humano foram obtidos da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), através da Gerência da Divisão Controle Operacional, Regional Borborema. Foram considerados para as demandas do açude de Boqueirão os consumos mensais do ano de 2007, como apresentados na Tabela 3.4.

Para o açude de Porções, que atualmente não abastece nenhum município e apenas em caso de necessidade auxilia no abastecimento da cidade de Monteiro, foi considerado uma demanda de 10 l/s constante.

O reservatório de Camalaú abastece o município de Camalaú, que possui uma demanda de 3,87 l/s atualmente. Devido à demanda ser muito pequena, para esse estudo foi considerado 10 l/s para demanda atual, sendo esta demanda prevista para o horizonte de 2025 para este reservatório.

O reservatório de Acauã abastece a cidade de Itatuba desde o mês de julho de 2007, que tem uma população de, aproximadamente, 9.841 habitantes. Tendo em vista o recente abastecimento e a pequena demanda para abastecimento humano, não foi considerada nenhuma demanda atual.

**Tabela 3.4** – Demanda estimada/medida de água bruta (m<sup>3</sup>/s) do açude Boqueirão

Demandas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Sistema Adutor de Campina Grande*	1,09	1,12	1,05	1,06	1,02	0,99	1,00	1,01	1,02	1,13	1,14	1,12
Sistema Adutor do Cariri*	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,08	0,10	0,13	0,13	0,13
Anual	1,21	1,25	1,17	1,18	1,14	1,11	1,12	1,09	1,12	1,26	1,27	1,25

\* Estão inclusos na demanda lavagem de filtro, retiradas pra caminhões pipas e as perdas na distribuição.

#### 3.3.4.2 – IRRIGAÇÃO

Nessa pesquisa foram considerados apenas os perímetros públicos irrigados nas proximidades do sistema em estudo, aonde fosse possível disponibilizar água e levando, também, em consideração a viabilidade dos projetos de irrigação. São eles os perímetros de Porções com 356 ha, do Congo com 156 ha e de Vereda Grande com 289 ha, como ilustrado na Figura 3.3. Com base no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio

Paraíba (PDRH-PB, 2001), foi considerado para estimativa da demanda hídrica de irrigação 0,45 l/s.ha.

### 3.3.5 RELAÇÃO COTA X ÁREA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS

Os valores da relação Cota x Área x Volume para os reservatórios de Porções, Camalaú e Acauã foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. A curva Cota x Área x Volume do reservatório Boqueirão foi obtida do levantamento batimétrico na bacia hidráulica (SEMARH-2004a). As referidas curvas são mostradas nos Anexos de 5 a 8.

### 3.3.6 VOLUMES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS RESERVATÓRIOS

Conforme o Cadastro dos Açudes disponibilizado pelo Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoramento Remoto da Paraíba (LMRS-PB). Os valores máximos e mínimos dos reservatórios são dispostos na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5** – Volumes máximos e mínimos dos reservatórios

Reservatórios	Volume Máximo (m <sup>3</sup> )	Volume Mínimo (m <sup>3</sup> )	Classificação (C)	Valor da Cota do Volume Mínimo* (m)
Porções	29.861.562	582.125	Médio	37
Camalaú	46.437.520	159.360	Médio	305
Boqueirão	411.686.287	28.238.900	Grande	350
Acauã	253.142.247	2.033.709	Grande	94

\* Valores medidos com relação ao nível do mar; Classificação por capacidade máxima (C) dos Açudes segundo o Decreto Estadual 19.258/97 ; Micro:  $C \leq 0,5 \text{ hm}^3$ ; Pequeno:  $0,5 \text{ hm}^3 < C \leq 7,5 \text{ hm}^3$ ; Médio:  $7,5 \text{ hm}^3 < C \leq 75,0 \text{ hm}^3$ ; Grande:  $C > 75,0 \text{ hm}^3$ .

### 3.3.7 VOLUMES INICIAIS DOS RESERVATÓRIOS

Os volumes iniciais dos reservatórios considerados foram referentes aos valores médios do mês de dezembro de 2006, obtidos do monitoramento realizado pelo Órgão Gestor dos recursos hídricos do Estado (AESAs-2007). A Tabela 3.6 apresenta os volumes e os respectivos percentuais relativos as capacidades máximas dos reservatórios considerados nas simulações.

**Tabela 3.6** – Volumes Iniciais e a porcentagem do volume total dos açudes

Açude	Capacidade Máxima (m <sup>3</sup> )	Volume inicial (m <sup>3</sup> )	(%) do Volume Total
Porções	29.861.562	14.645.681	49,0
Camalaú	46.437.520	21.317.728	45,9
Boqueirão	411.686.287	366.887.439	89,1
Acauã	253.000.000	226.237.423	89,4

**Fonte:** Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba – (AES/A,2007)

### 3.3.8 PERDAS DE CONDUÇÃO (EVAPORAÇÃO E INFILTRAÇÃO)

Para o cálculo das perdas por evaporação e infiltração foram adotadas os percentuais obtidos através de estudos técnicos realizados pelo pesquisador da CAPES/PRODOC/UFCG, Dr. Cícero Aurélio Granjeiro Lima, com o objetivo de avaliar as perdas em trânsito das vazões entre os reservatórios Porções e Acauã, decorrentes do incremento da vazão exógenas transpostas do Rio São Francisco para o sistema do rio Paraíba via Eixo Leste.

Os resultados dos estudos mostraram uma perda média de 14% da vazão fluente no rio entre o reservatório Porções e Boqueirão (Alto Curso do Rio Paraíba) e de 22% para o trecho entre o reservatório de Boqueirão e Acauã, referente a região do Médio Curso do Rio Paraíba.

## **Capítulo IV**

### **O Sistema de Suporte a Decisão (SSD ACQUANET)**

---

## CAPÍTULO IV

### O SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO (SSD ACQUANET)

Dada a complexidade das simulações consideradas nessa pesquisa, na qual envolve um sistema de quatro reservatórios interligados, com suas respectivas demandas tanto de abastecimento como irrigação e ainda uma vazão exógena proveniente da Transposição do rio São Francisco, a ser disponibilizada para o Eixo Leste do projeto, buscou-se um modelo de simulação que permitisse estruturar diversas formas de interligações. Logo se adotou o Acquanet, pois se trata de um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Com ele é possível montar redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais, representando o problema em estudo de forma bastante detalhada (USP, 2002).

#### 4.1 GENERALIDADES

O SSD Acquanet é um modelo matemático, baseado na teoria de fluxos em rede, que visa dar suporte à tomada de decisões no gerenciamento de recursos hídricos.

Esse modelo matemático foi aperfeiçoado no Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LabSid / USP) através de algumas mudanças feitas do modelo que o originou – o ModSim - que foi desenvolvido no Colorado State University, nos Estados Unidos, na década de 1980 (LABADIE, 1995). Houve melhoramentos em sua interface gráfica e em seu sistema de gerenciamento de dados, que passou a ser feita através da criação e utilização de banco de dados no formato Access e aproveitada a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato.

O SSD ACQUANET foi desenvolvido, portanto, para ser um sistema amigável, de fácil comunicação usuário - computador, formulação do problema e interpretação dos resultados por ele obtidos.

Um das principais características do Acquanet é a incorporação automática de uma série de funções pertinentes a simulação das bacias hidrográficas sem que o usuário tenha de se preocupar em programá-las, dentre elas as mais importantes são:

- a) 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 (sendo o valor 1 maior prioridade).

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

## **4.2 ETAPAS PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS PELO ACQUANET**

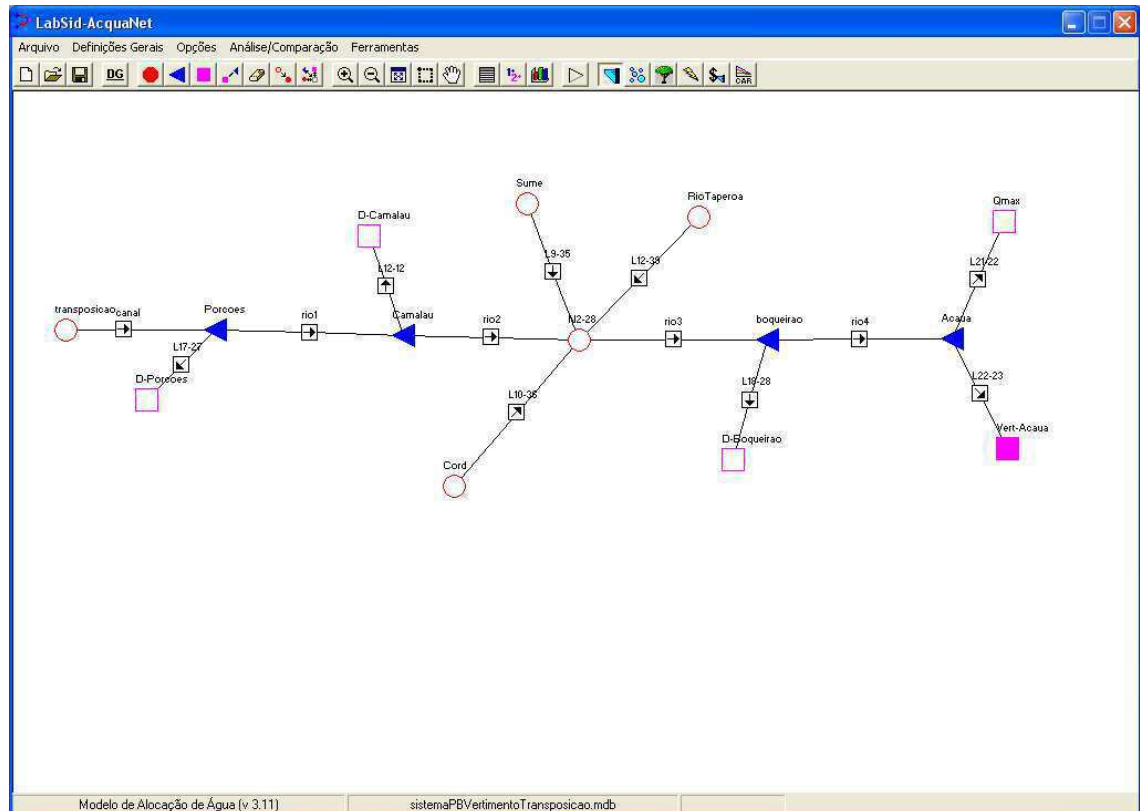
### **4.2.1 DESENHO DA REDE DE FLUXO**

O passo inicial para resolver o problema através do AcquaNet consiste na elaboração da rede de fluxo, ou seja, o desenho da topologia da bacia em estudo no modelo matemático. Esse desenho pode ser feito de maneira simples, utilizando apenas o mouse e uma série de ícones que representam os elementos de uma bacia hidrográfica, que são: reservatórios, canais, nós de passagem, demandas hídricas, etc.

O módulo base do AcquaNet é responsável pela criação/edição do traçado, leitura e salvagem dos projetos em estudo, definição do módulo atualmente ativo e também pela integração e comunicação entre os diferentes módulos.

A Figura 4.1 ilustra a tela principal do módulo base do SSD AcquaNet, e a Figura 4.2, os botões de construção e edição do traçado da rede, a ser feita na tela principal do módulo base. Estas ferramentas permitem ao usuário montar redes com grande número de reservatórios, demandas, nós de passagem e arcos, representando o problema em estudo e estão localizados em seu canto superior esquerdo, conforme Figura 4.1. Os botões são utilizados, observando-os da esquerda para a direita, para criar nó de passagem, criar reservatório, criar demanda, criar arco, apagar elementos, mover elementos e marcar/desmarcar elementos.





**Figura 4.1** – Tela principal do módulo base e exemplo de traçado de uma rede



**Figura 4.2** Botões para construção/edição do traçado

#### 4.2.2 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 a obtenção e a apresentação dos resultados. No modelo existe uma tela de definições gerais, localizado também na tela principal do módulo base, Figura 5.1, na qual são escolhidos o tipo de simulação, a opção de cálculo e os valores relacionados com essas opções. A Figura 5.3 mostra a tela de definições gerais.

A presente dissertação aplicou o modelo utilizando como tipo de simulação e opção de cálculo, respectivamente, Simulação Contínua e Calibração.

**Figura 4.3** – Tela de Definições Gerais

#### 4.2.3 MÓDULO SECUNDÁRIO NO ACQUANET

O Acquanet constitui-se de um módulo base e de 5 módulos secundários escolhidos em função do objetivo do estudo. São eles: a) módulo de alocação de água, b) de avaliação da qualidade de água, c) de alocação de água para irrigação, d) de produção de energia elétrica, e e) de valores econômicos de decisões de alocação.

O módulo base é responsável pelo traçado, leitura, salvagem dos projetos, comunicação entre os diferentes módulos secundários e definição do módulo secundário ativo.

Os módulos secundários utilizam um algoritmo de rede de fluxo para a solução dos problemas e funcionam de forma independente. O sistema dispõe de um banco de dados que armazena os dados de entrada dos modelos, assim como os resultados gerados por eles. Esse banco é parte fundamental em todo o processo de comunicação entre o módulo base e os outros módulos.

Será detalhado o módulo de alocação de água, já que todas as simulações para resolução do problema, objeto da dissertação, são realizadas utilizando apenas esse módulo secundário.

#### 4.2.4 MÓDULO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA

O módulo de alocação constitui um modelo de rede de fluxo de caráter geral e adaptável a diversos tipos de problemas. Assim, a maior parte das configurações e estruturas

operacionais das bacias hidrográficas pode ser representada por meio da especificação de dados de entrada apropriados.

O módulo de alocação fornece subsídios para gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas. Pode, também, ser utilizado para avaliar compensações entre usos conflitantes durante períodos de disponibilidade deficiente de água. Além de ser um instrumento de gerenciamento, o módulo de alocação pode ser utilizado no planejamento e na análise do impacto de propostas alternativas para implantação de projetos de aproveitamento de recursos hídricos.

#### 4.2.4.1 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).

##### 4.2.4.1.1 SIMULAÇÃO CONTÍNUA

Na Simulação Contínua, o valor mais importante é o número total de anos de simulação (chamado aqui 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:

- a) no primeiro ano, o modelo parte com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário e efetua os cálculos até o final deste ano;
- b) no segundo ano parte-se com volumes iniciais iguais aos volumes finais do ano anterior;
- c) o procedimento é repetido até o ano NT;
- d) os resultados da simulação são fornecidos de forma contínua, do primeiro ao último ano.

Quando as séries de vazões são relativamente longas, percebe-se que 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 a opção recomendada quando se pretende ter uma idéia do comportamento do sistema ao longo do tempo.

##### 5.2.4.1.2 PLANEJAMENTO TÁTICO

No Planejamento Tático o usuário deve fornecer, além do número total de anos de simulação (NT), o número de anos do horizonte de simulação (NH). O horizonte de simulação

é o número de anos durante os quais se pretende estudar o comportamento do sistema em análise. Neste tipo de simulação, o Acquanet efetua os cálculos da seguinte maneira:

- a) partindo, no primeiro ano, com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário, o modelo efetua os cálculos sequencialmente para NH anos da série de vazões;
- b) na segunda rodada o procedimento acima é repetido partindo-se novamente com os volumes iniciais fornecidos pelo usuário. Os cálculos são efetuados para NH anos, mas partindo do segundo ano da série de vazões;
- c) o procedimento acima é repetido até que seja efetuado o cálculo partindo-se do ano  $NT - NH + 1$  da série de vazões;
- d) 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.

#### 4.2.4.2 OPÇÕES DE CÁLCULO

As duas opções de cálculo existentes no Acquanet são: Estados Hidrológicos e Calibração. As diferenças entre estas 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 grandezas citadas para cada um dos estados. Quando a opção selecionada for Calibração, o modelo efetua os cálculos com os valores fornecidos sem considerar o estado atual do sistema.

#### 4.2.4.3 OS DADOS DE ENTRADA/EDIÇÃO REQUERIDO PELO MODELO

Para inserir os dados de entrada em qualquer elemento da rede, basta clicar com o botão direito do mouse sobre ele. Irá surgir uma tela com todos os dados necessários ao elemento escolhido.

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 5.4, o modelo necessita das séries de vazões afluentes ao sistema, as características físicas do reservatório (volumes

inicial, máximo e mínimo, volume meta, curvas cota x área x volume prioridades) e taxas de evaporação.

Os links são elos que ligam oferta hídrica à demanda hídrica, ou seja, são trechos de rios, canais, dutos e etc.. Em sua entrada de dados, o modelo solicita a capacidade máxima de água e características do link como: coeficiente de perdas, capacidade mínima e custos. Por fim, tem-se a edição de dados das demandas, como: valores, prioridades de atendimento, e nós de retorno, quando existente.

**Figura 4.4** – Tela para entrada/edição de dados de um reservatório

#### 4.2.4.4 A EFETUAÇÃO DO CÁLCULO E OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

Para o módulo de alocação efetuar os cálculos, basta clicar no menu "Calcular". Ao fazer isto, o módulo de alocação iniciará os cálculos, apresentando uma tela que indica o andamento do processo. Ao final dos cálculos, o módulo de alocação está pronto para apresentar os resultados. Para acessar os resultados, que vêm em forma de planilhas ou gráficos, basta clicar no menu "Resultados".

#### 4.2.4.5 RESULTADOS

Os resultados da Simulação Contínua são escolhidos através da tela mostrada na Figura 5.5, na qual o usuário define os elementos e os resultados que deseja visualizar. Isto torna o processo mais eficiente, já que somente os resultados escolhidos pelo usuário serão lidos do banco de dados. 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 apresentados pelo Acquanet são:

- Resultados para os reservatórios

Volume final: o volume armazenado nos reservatórios em função da garantia (em porcentagem) fornecida pelo usuário;

Probabilidade do volume final: a probabilidade do volume armazenado nos reservatórios ser maior ou igual a um valor de volume (em porcentagem) fornecido pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático).

- Resultados para as demandas

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 (em porcentagem) fornecida pelo usuário (simulação contínua ou planejamento tático);

Vazões fornecidas (valores mensais): as vazões fornecidas às demandas em função da garantia (em porcentagem) fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);

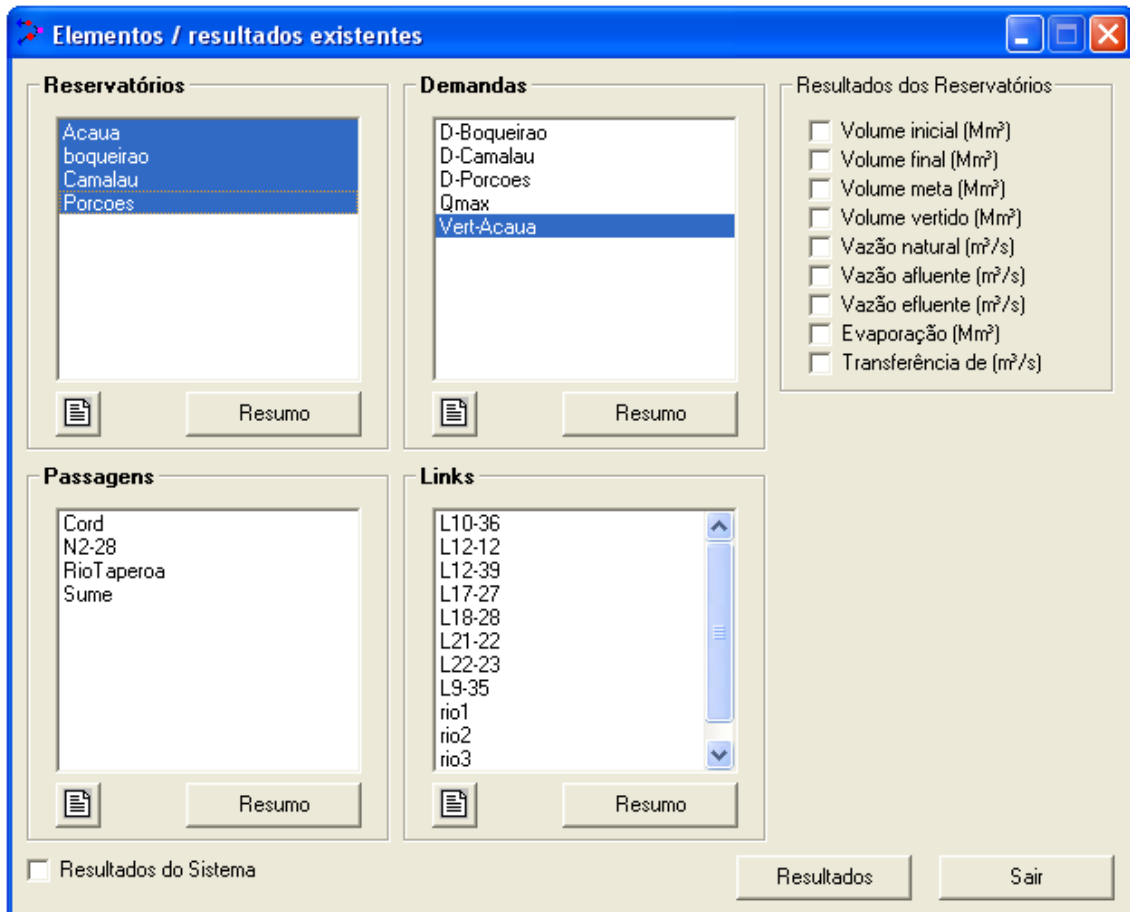
Vazões fornecidas (valores médios anuais): as vazões médias anuais fornecidas às demandas em função da garantia (em porcentagem) fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);

Valores obtidos: todos os valores obtidos durante a realização dos cálculos (simulação contínua/planejamento tático).

- Resultados dos links

Vazões ótimas: as vazões ótimas nos links em função da garantia (em porcentagem) fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);

Valores obtidos: durante a realização dos cálculos (simulação contínua/planejamento tático).



**Figura 4.5** – Tela para escolha dos resultados da simulação contínua

## **Capítulo V**

### **Metodologia da Pesquisa**

---



## CAPÍTULO V

### METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo visa esclarecer, através de dados do sistema em estudo (descrito no Capítulo III), do entendimento do Projeto de Integração do rio São Francisco com a Bacia do Rio Paraíba através do Eixo Leste, e da compreensão da modelagem matemática e dos cenários de simulação (Capítulo V) para a determinação da Sinergia Hídrica, proveniente do projeto de transposição, que busca o melhor aproveitamento das afluições naturais, transformando substanciais volumes antes vertidos e evaporados em incrementos significativos à garantia do suprimento de água e volumes alocados.

Com o intuito de analisar a Sinergia Hídrica, foram simulados cenários com demandas hídricas de abastecimentos e irrigação atuais, diferentes políticas de operação, com e sem transposição, e duas formas de transposição consideradas nessa pesquisa, tanto pelo leito do rio quanto por adutora, sendo os mesmos detalhado nos próximos itens.

#### 5.1 – DESCRIÇÕES DOS CENÁRIOS E AS REGRAS DE OPERAÇÃO

A fim de se calcular a Sinergia Hídrica, fez-se necessário simular cada cenário de duas formas: na primeira considera-se apenas as afluições naturais aos reservatórios; na segunda incrementa-se a vazão aduzida mínima de 4.2 m<sup>3</sup>/s da transposição das águas do São Francisco (vazão exógena).

**Tabela 5.1** – Cenários de demandas hídricas

CENÁRIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS	
<b>Cenário 1</b>	Foram consideradas apenas as demandas de abastecimentos atuais, e a transposição da vazão exógena através do leito natural do rio.
<b>Cenário 2</b>	Foram consideradas demandas de abastecimento e irrigação dos perímetros considerados nessa pesquisa, e a transposição da vazão através do leito natural do rio.
<b>Cenário 3</b>	Foram consideradas apenas as demandas de abastecimentos atuais, e a transposição da vazão se fará por meio de adutora.
<b>Cenário 4</b>	Serão consideradas demandas de abastecimento e irrigação dos perímetros considerados nessa pesquisa e a transposição da vazão se fará por meio de adutora.

Com o intuito de verificar e analisar o comportamento do sistema, serão simulados os quatro cenários acima especificados para cada uma das regras de operação, que serão detalhadas a seguir: Regra de Operação com Controle Rígido (ROCR) e Regra de Operação com Volume Mínimo (ROVM).

#### **5.1.1 – REGRA DE OPERAÇÃO COM CONTROLE RÍGIDO (ROCR)**

A ROCR é aquela em os reservatórios só podem liberar água para o rio, a jusante, por vertimento. Esse cenário procura retratar as regras de operações atuais da maioria dos reservatórios do Nordeste, que, devido ao temor de enfrentar situações de escassez hídrica devido às incertezas hidrológicas, procura-se armazenar água para atendimentos às demandas.

#### **5.1.2 – REGRA DE OPERAÇÃO COM VOLUME MÍNIMO (ROVM)**

Essa regra de operação, que pode ser considerada arrojada para a região, permite manter o volume do reservatório próximo do mínimo. Logo, as perdas por evaporação e vertimento diminuem. Dependendo da magnitude da demanda, poderá haver falha no atendimento, mas por outro lado, permite que eventuais excessos de vazão afluente na época chuvosa possam ser armazenados em maior quantidade. Essa regra operativa, que permite fazer um maior uso da água acumulada, mas que aumenta o risco de desabastecimento, só é possível de ser implantada diante de uma garantia de vazão exógena, nesse caso pela transposição do São Francisco.

### **5.2 DADOS DE PRIORIDADES DE ATENDIMENTO REQUERIDOS PELO MODELO**

Foram adotadas as prioridades de atendimento às demandas e volume meta dos reservatórios conforme a regra de operação a ser adotada. Sabendo-se que o menor número de prioridade indica o uso hídrico que será primeiramente atendido, a hierarquia de atendimento às demandas hídricas de cada cenário simulado encontra-se especificada na Tabela 4.2.

Observa-se pela seqüência de atendimento aos usos da água, mostrada na Tabela 4.2, que, para os Cenários 2 e 4 sem transposição, a prioridade é o abastecimento humano, seguida pelos volumes meta dos reservatórios, a irrigação, e por fim a vazão regularizável no reservatório de Acauã. A ordem escolhida impõe o requerimento de atendimento às demandas e aos volumes meta na ordem decrescente de prioridades no sentido a atender primeiramente as demandas de montante. Essa hierarquia de prioridades retrata a situação atual, onde, após atendimentos às demandas hídricas de abastecimento, armazena-se água nos reservatórios

para garantir as demandas prioritárias atuais e futuras. As incertezas sobre futuros anos secos, normais e chuvosos determinam essa postura na gestão das águas dos reservatórios. Por fim, ao atingir o volume meta os reservatórios poderão atender as demandas de irrigação.

As prioridades para os cenários com a garantia das águas da transposição, visa atender prioritariamente o abastecimento, seguido da irrigação, a vazão regularizável no reservatório de Acauã, e finalmente, os volumes meta dos reservatórios. Tendo em vista a garantia de um aporte hídrico capaz de minimizar os efeitos decorrentes da incerteza das afluências naturais, permite-se uma regra de operação mais flexível em relação a atender todas as demandas, inclusive irrigação, e, por último, o armazenamento nos reservatórios. Tal regra visa reduzir as perdas por evaporação e vertimento.

**Tabela 5.2** – Prioridades de atendimento às demandas e volume meta dos reservatórios

	PRIORIDADE DE ATENDIMENTO			
	Cenário 1 e 3 S/transposição	Cenário 1e 3 C/transposição	Cenário 2 e 4 S/transposição	Cenário 2 e 4 C/transposição
Demanda				
Abastecimento	1	1	1	1
Porções				
Demanda				
Abastecimento	2	2	2	2
Camalaú				
Demanda				
Abastecimento	3	3	3	3
Boqueirão				
Qmáx Acauã	50	4	50	7
Irrigação Porções	-	-	10	4
Irrigação Cordeiro	-	-	11	5
Irrigação Vereda Grande	-	-	12	6
	VOLUME META			
Açude Porções	10	10	4	10
Açude Camalaú	20	20	5	20
Açude Boqueirão	30	30	6	30
Açude Acauã	40	40	7	40

### 5.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Todos os dados de entrada foram colocados no modelo matemático Acquanet e, assim, os oito cenários, com e sem transposição, foram simulados.

Procurou-se verificar o comportamento do sistema em cada cenário quanto as eventuais falhas de atendimentos às demandas hídricas de abastecimento e irrigação durante o período simulado. Havendo falhas, foram verificadas as quantidades e frequência de ocorrência.

Para o reservatório de Acauã foram calculadas as vazões máximas regularizadas com garantia de 100%, 95% e 90%. Foram quantificados, também, os volumes de água alocados para as demandas com e sem transposição, os volumes totais transpostos, os déficits hídricos, as evaporações em cada reservatório, os vertimentos no final do sistema e as perdas no leito do rio, considerando a série de 56 anos para as simulações.

#### 5.4 CÁLCULOS DA SINERGIA HÍDRICA E INDICADORES DE DESEMPENHO DO SISTEMA

De posse dos resultados das simulações, para cada cenário com e sem transposição, foi possível calcular a sinergia hídrica para cada cenário e, também, os indicadores de desempenho do sistema (Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade), como apresentados no Item 2.3.1 do Capítulo II, para todas as demandas hídricas.

A Sinergia hídrica é a parcela de acréscimo do volume alocado para as demandas ou na disponibilidade hídrica do sistema que ultrapassa o acréscimo do aporte de águas decorrente do volume transposto do rio São Francisco. Essa parcela é proveniente do melhor aproveitamento das águas que fluem naturalmente aos reservatórios e que eram, antes do aporte de uma vazão exógena, não alocadas e/ou transformadas em vertimentos e evaporações.

Para a obtenção da sinergia utilizou-se a Equação 5.1:

$$SIN = V_{ADCT} - V_{ADST} - V_{TA} \quad (5.1)$$

Onde:

$SIN$  – Sinergia Hídrica

$V_{ADCT}$  – Volume total alocado para as demandas com determinada vazão da transposição

$V_{ADST}$  – Volume total alocado para as demandas sem transposição

$V_{TA}$  – Volume total aduzido

O Fluxograma da metodologia desta pesquisa é apresentado na Figura 5.1

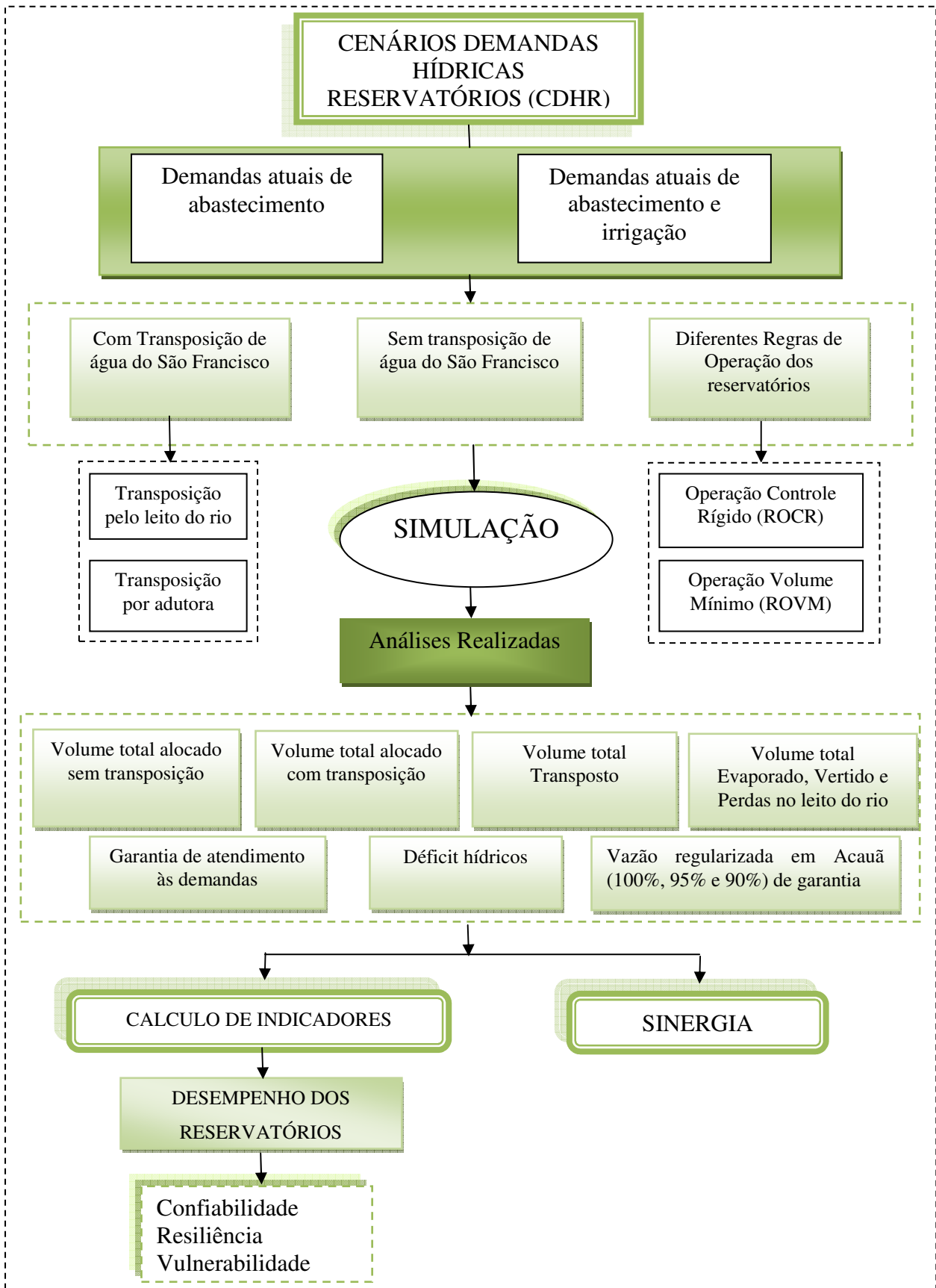


Figura 5.1 – Fluxograma da Metodologia Utilizada na Pesquisa

## **Capítulo VI**

### **Resultados e Discussões**

---

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do modelo de simulação na operação dos reservatórios sujeitos a transposição gerou um grande volume de resultados numéricos, sob forma de planilhas. Destes resultados, os mais significativos foram selecionados e apresentados sob a forma de gráficos e tabelas.

#### 6.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA CADA REGRA DE OPERAÇÃO

##### 6.1.1 REGRA DE OPERAÇÃO COM CONTROLE RÍGIDO (ROCR)

###### 6.1.1.1 CENÁRIO 1

Conforme o Capítulo IV, nesse cenário foi considerado as demandas de abastecimento atual para os reservatórios e a transposição da vazão de 4,2 m<sup>3</sup>/s do rio São Francisco é realizada pelo leito do rio.

- SEM TRANSPOSIÇÃO

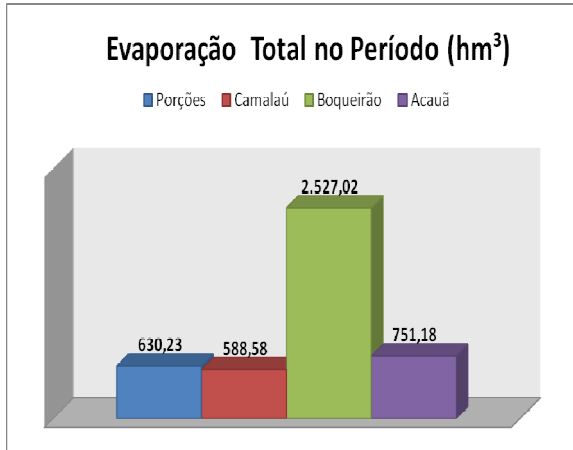
A Tabela 6.1 apresenta os volumes totais alocados, para os 672 meses analisados, e as vazões totais e a garantia de atendimento para as respectivas demandas para este cenário.

**Tabela 6.1** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 sem transposição para ROCR

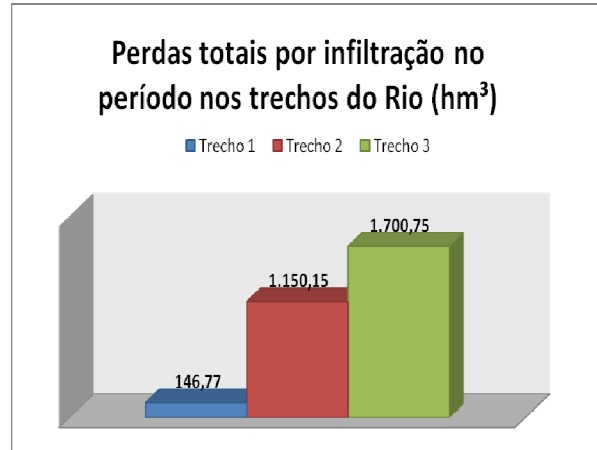
ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 1			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Total	2.119,90		

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.

Para a ROCR que só permite a passagem de água dos reservatórios para jusante do sistema por vertimento, não há falhas no atendimento às demandas de abastecimento, pois os reservatórios se mantêm com volumes suficientes para atendimento às demandas.



**Figura 6.1** – Evaporação dos Reservatórios no Cenário 1 sem transposição para ROCR



**Figura 6.2** – Perdas no leito do rio no Cenário 1 sem transposição para ROCR

Os trechos do rio foram nomeados da seguinte forma: o trecho 1 é o canal que liga o reservatório de Porções ao de Camalaú; o trecho 2 liga o reservatório de Camalaú ao de Boqueirão e o trecho 3 liga o reservatório de Boqueirão ao de Acauã.

A soma da evaporação total nos reservatórios durante o período simulado foi de 4.497,00 hm³ para o Cenário 1 sem transposição, enquanto que a perda total médias por infiltração no rio foi de 2.997,68 hm³, bem inferior ao volume evaporado.

- COM TRANSPOSIÇÃO

O valor considerado para a vazão transposta do São Francisco nas simulações foi de 4,2 m³/s, de forma contínua, com entrada no Açude de Porções. No total do tempo de simulação essa vazão representa o montante de 7.417,27 hm³. Vale salientar que para esse cenário o meio de transporte da água foi o leito do rio.

A Tabela 6.2 apresenta os volumes totais alocados e as vazões totais para as respectivas demandas, com integração das águas do rio São Francisco, para os 672 meses analisados.

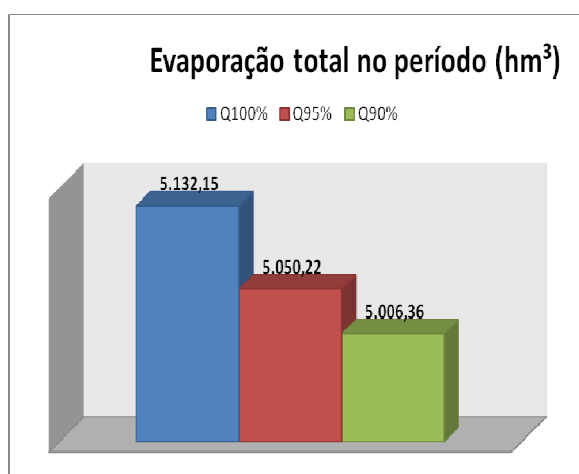


**Tabela 6.2** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 com transposição para ROCR

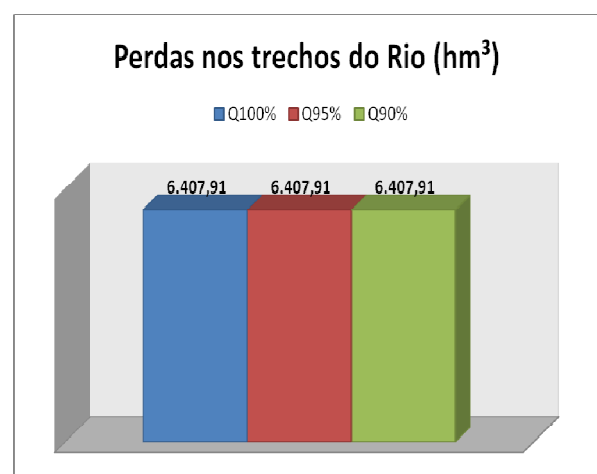
ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 1			
Com Transposição	Volume Total alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	5.015,49	2,84	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	6.201,55	3,66	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	6.769,71	4,17	90%
*Total	7.135,39	-	-
**Total	8.321,45	-	-
***Total	8.889,61	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).

Observa-se na Tabela 6.2 que, à medida que a vazão regularizada em Acauã reduz a sua garantia, ocorre um aumento no volume utilizado para o atendimento às demandas, reduzindo assim a evaporação nos reservatórios, conforme mostra a Figura 6.3. As perdas nos trechos do rio permaneceram constantes para as diferentes garantias de atendimento, nesse caso perdeu-se mais água em trânsito no leito do rio do que por evaporação nos reservatórios.

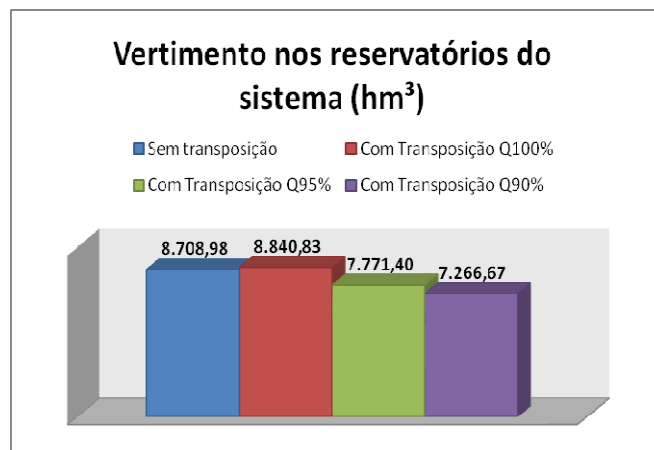


**Figura 6.3** – Volume evaporado no Cenário 1 com transposição para ROCR, em função da operação do reservatório Acauã



**Figura 6.4** – Perdas no leito do rio para as vazões regularizadas em Acauã e respectivas garantias, no Cenário 1 com transposição para ROCR

O volume total evaporado nos reservatórios, durante todo o tempo de simulação, foi de 4.497 hm<sup>3</sup> para a simulação sem transposição, inferior aos volumes evaporados nos reservatórios com a transposição, conforme pode ser observado na Figura 6.3. Isso decorre de um maior aporte de água devido à transposição, fazendo com que os reservatórios permaneçam com grandes volumes e aumentando seus espelhos de água e, conseqüentemente, o volume perdido por evaporação.



**Figura 6.5** – Volumes vertidos no Cenário 1 sem e com transposição para ROCR

Pela Figura 6.5 observa-se que o volume vertido para a simulação sem transposição é superior aos volumes vertidos para a simulação com transposição quando a regularização a jusante do reservatório de Acauã for inferior a 100%. Esta diferença aumenta com a diminuição da garantia de atendimento.

#### 6.1.1.2 CENÁRIO 2

- SEM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.3 mostra os resultados da simulação dos reservatórios, das demandas de abastecimento e irrigação, os volumes totais alocados e respectivas garantias, para o período de simulação considerado.

As demandas de abastecimentos foram atendidas com 100% de garantia. Não foi possível obter para este Cenário uma vazão regularizada no reservatório de Acauã com confiabilidades de 90%, 95% e 100% .

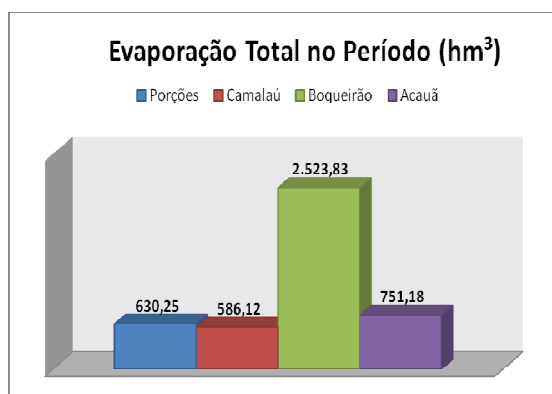
**Tabela 6.3** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 sem transposição para ROCR

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 2			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Irrigação Porções	38,26	0,16	13,24%
Irrigação Cordeiro	36,69	0,07	28,86%
Irrigação Vereda Grande	31,59	0,13	13,54%
Total	2.226,44	-	-

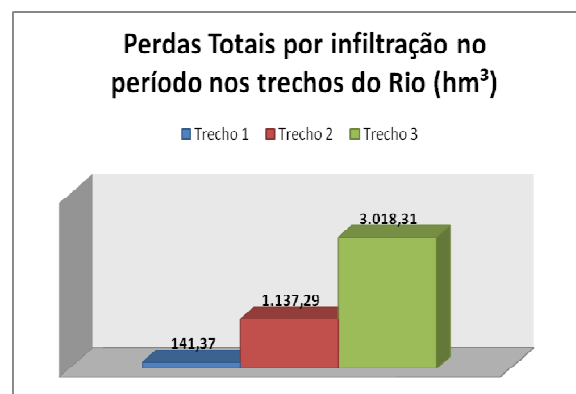
(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.

Ao se incrementar a demanda de irrigação para esse cenário sem transposição, com uma prioridade inferior ao do abastecimento e do volume meta para os reservatórios, percebe-se que a confiabilidade para essa demanda é bastante pequena. Logo, não haveria disponibilidade hídrica com garantia suficiente para reativar as atividades agrícolas desses perímetros considerando a área total dos projetos, uma vez que o nível de garantia adotado usualmente em estudos hidrológicos para fins hidroagrícola no Brasil é de 90% (Farias, et al 2005).

De acordo com a Figura 6.6, observa-se que o reservatório de Boqueirão perdeu, por evaporação, 2.523,83 hm<sup>3</sup>. Esse valor é superior a soma dos volumes evaporados dos demais reservatórios do sistema, que juntos totalizaram 1.967,55 hm<sup>3</sup>.



**Figura 6.6** – Evaporação nos reservatórios no Cenário 2 sem transposição para ROCR



**Figura 6.7** – Perdas no leito do rio no Cenário 2 sem transposição para ROCR

O volume total das perdas em trânsito para o Cenário 2 sem transposição foi de 4.296,98 hm<sup>3</sup>, sendo maior no trecho 3, localizado entre o reservatório de Boqueirão e Acauã onde as perdas de água no leito são de aproximadamente 22%.

- COM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.4 mostra os resultados da simulação dos reservatórios, as demandas de abastecimento e irrigação, os volumes totais alocados e respectivas garantias para o Cenário 2 com transposição pelo leito do rio.

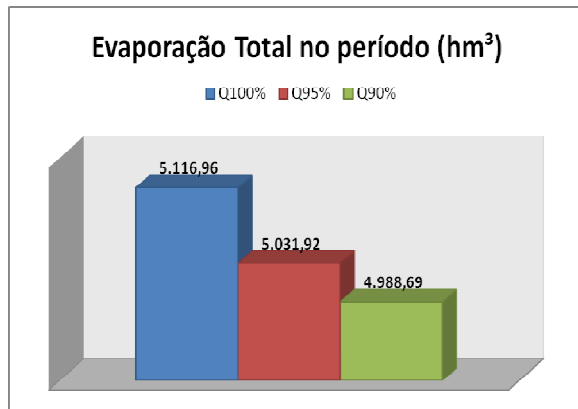
Observa-se para o Cenário 2 sem transposição exposto na Tabela 6.3 que a confiabilidade para as demandas de irrigação foram baixas. Já, para o Cenário 2 com transposição, essas demandas obtiveram uma elevada confiabilidade para o perímetro de Porções e Cordeiros e apenas o perímetro Vereda Grande permaneceu com baixa confiabilidade. Isso ocorreu devido a demanda do perímetro Vereda Grande não ser diretamente ligada a um reservatório e suas retiradas de água se dão diretamente no leito do rio, dependendo das afluições naturais.

Percebe-se que, à medida que decresce a garantia e/ou que introduz uma nova demanda, resulta no aumento do volume alocado. Como era de se esperar, o volume evaporado, para o Cenário 2 com transposição para as vazões regularizadas em Acauã com as diferentes garantias, decresce na medida em que se reduz o nível de garantia, como mostra a Figura 6.8, pois um percentual do volume evaporado é utilizado para atendimento das demandas do sistema.

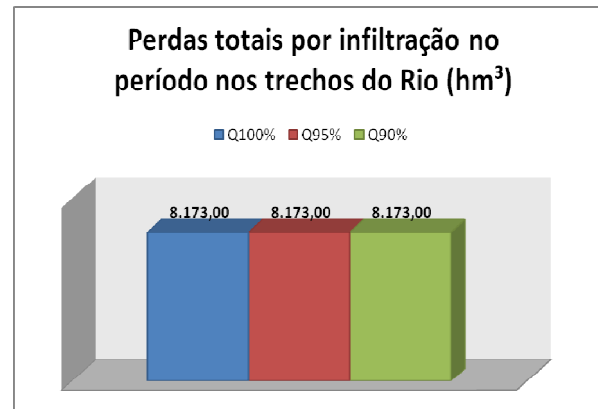
**Tabela 6.4** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 com transposição para ROCR

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 2			
Com Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	4.644,62	2,63	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	5.888,88	3,48	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	6.408,46	3,95	90%
Irrigação Porções	282,56	0,16	100%
Irrigação Cordeiro	123,57	0,07	99,70%
Irrigação Vereda Grande	59,96	0,13	25,59%
*Total	7.230,61	-	-
**Total	8.474,87	-	-
***Total	8.994,45	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã (Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).

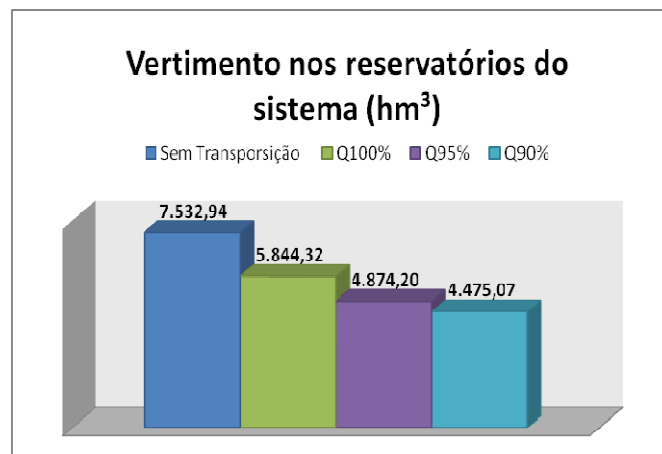


**Figura 6.8** – Evaporação nos reservatórios no Cenário 2 com transposição para ROCR



**Figura 6.9** – Perdas no leito do rio no Cenário 2 com transposição para ROCR

As perdas por infiltração nos trechos do rio permaneceram constante para os diferentes níveis de garantia da vazão regularizada para o reservatório de Acauã, pois a quantidade de água que passa nos trechos do rio é proveniente dos vertimentos à montante aos reservatórios e das vazões afluentes.



**Figura 6.10** – Volumes vertidos no Cenário 2 sem e com transposição para ROCR

O volume total vertido para o Cenário 2 sem transposição foi bem superior aos volumes vertidos para o mesmo cenário com transposição, isso porque, devido as regras operacionais conservacionistas adotadas para o cenário sem transposição, por causa das incertezas hidrológicas futuras, armazena-se água no reservatório para garantir o abastecimento humano, embora se perca muita água por evaporação.

Na medida em que foi incrementada a demanda de irrigação, percebeu-se que o volume vertido, mostrado na Figura 6.10, para o Cenário 2 sem e com transposição foi inferior ao volume vertido para o Cenário 1 com e sem transposição, mostrado na Figura 6.5, essa redução ocorreu devido ao aumento do volume alocado para a demanda de irrigação no sistema, permitindo o uso de uma parcela de água evaporada no Cenário 1.

### 6.1.1.3 CENÁRIO 3

- SEM TRANSPOSIÇÃO

Considerou-se, para este cenário, apenas a demanda de abastecimento. A forma de vazão a ser transposta pelo projeto de integração foi considerada via adutora interligada diretamente as ETA'S dos sistemas de abastecimento do sistema estudado. Esse cenário visa verificar se a forma de transposição via adutora produz um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, tendo em vista, a ausência da evaporação nas águas do São Francisco, transformando esses substanciais volumes evaporados em volumes alocados.

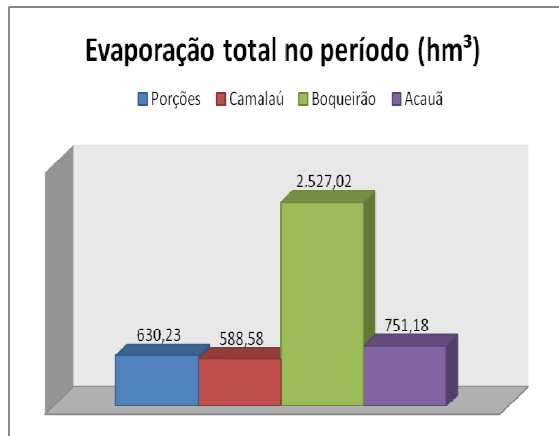
**Tabela 6.5** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 sem transposição para ROCR

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 3			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Total	2.119,90	-	-

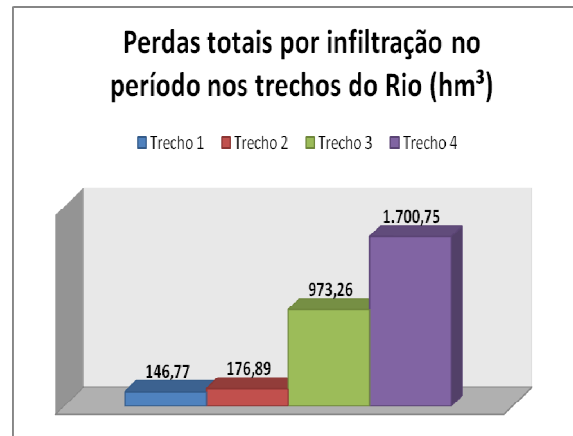
(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.

As demandas de abastecimento foram atendidas com 100% de garantia. Para esse cenário não foi possível regularizar vazão no reservatório de Acauã com garantias significativas para os fins de abastecimento e/ou irrigação.

O volume total evaporado para o Cenário 3 sem transposição foi de 4.496,78 hm<sup>3</sup>, sendo maior para o reservatório de Boqueirão, em seguida Acauã, Porções e por fim Camalaú.



**Figura 6.11** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 sem transposição para ROCR



**Figura 6.12** – Perdas no leito do rio no Cenário 3 sem transposição para ROCR

- COM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.6 mostra os resultados da simulação para o Cenário 3 com transposição. Os volumes alocados para as demandas de abastecimento foram atendidos com 100% de garantia e a vazão regularizada no reservatório de Acauã com as diferentes garantias foram bem superiores as dos Cenários 1 e 2.

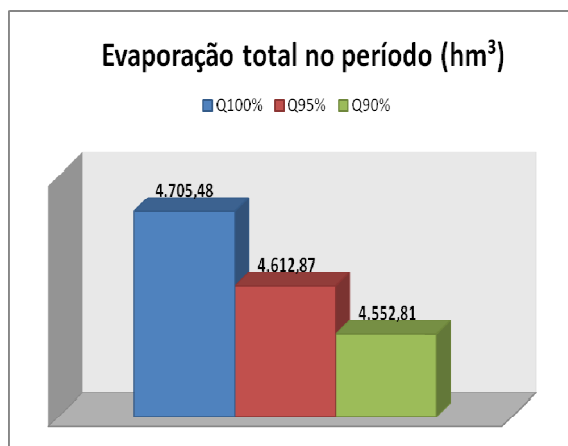
Os volumes alocados para as demandas de abastecimento do Cenário 3 com transposição foram bem superiores aos volumes alocados para o Cenário 1 com transposição, tendo um aumento de 45%, 40% e 49% com relação ao do Cenário 1, para os diferentes níveis de garantia de 100%, 95% e 90%, respectivamente. Isso só foi possível devido à simulação considerar a adutora como forma de transposição e, conseqüentemente, uma porcentagem dos volumes que seriam evaporados foram transformados em volumes disponíveis para as demandas.

O objetivo desse cenário foi reduzir o volume evaporado e perdas nos canais do rio, por isso optou-se por uma adutora para transportar a água do São Francisco, a partir do reservatório de Porções. Como era de se esperar, esse cenário com relação aos Cenários 1 e 2, obteve o menor volume evaporado e vertido, com isso foi possível disponibilizar mais água para o atendimento às demandas atuais e, também, futuras.

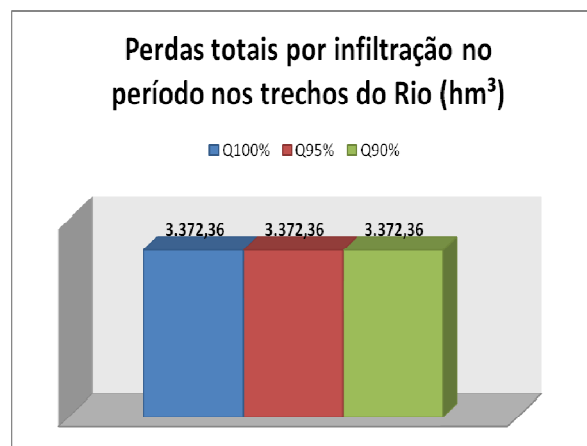
**Tabela 6.6** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 com transposição para ROCR

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 3			
Com Transposição	Volume Total alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	8.232,17	5,06	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	9.552,92	6,00	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	11.119,89	6,57	90%
*Total	10.352,07	-	-
**Total	11.672,82	-	-
***Total	13.239,79	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>);\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã (Q<sub>reg 2</sub>);\*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).



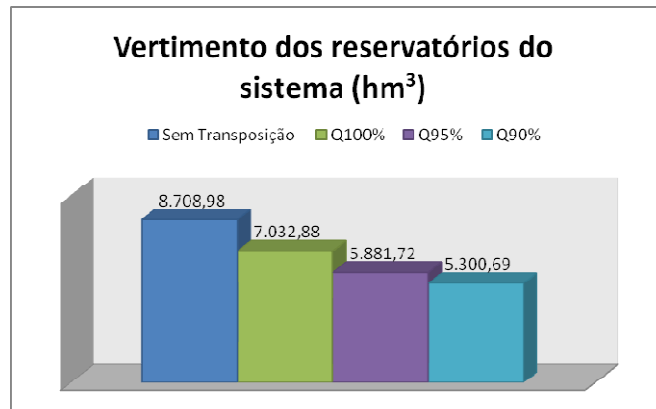
**Figura 6.13** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 com transposição para ROCR



**Figura 6.14** – Perdas no leito do rio no Cenário 3 com transposição para ROCR

Percebe-se que na medida em que a água é utilizada as perdas por evaporação tendem a reduzir. Já as perdas nos trechos do rio, de acordo com a Figura 6.13, não sofreram redução para as diferentes garantias de atendimentos tendo, no total, 3.372,36 hm<sup>3</sup> de perdas.





**Figura 6.15** – Volumes vertidos no Cenário 3 sem e com transposição para ROCR

Na Figura 6.14 estão dispostas as perdas totais por vertimento para o Cenário 3 sem e com transposição, que, por sua vez, foram maiores do que as perdas por vertimento do Cenário 2, conforme a Figura 6.10. Isso ocorreu por que no Cenário 3 considerou-se apenas a demanda de abastecimento, com isso um maior volume de água deixa de ser utilizado e passa a evaporar e verte. Já no Cenário 2 maiores volumes foram disponibilizados com o incremento da demanda de irrigação, alocando, assim, um maior volume de água.

Para a simulação sem transposição o volume vertido é bastante elevado, enquanto que para a simulação com transposição, para as diferentes garantias da vazão regularizada em Acauã, percebe-se que os volumes vertidos foram decrescentes.

#### 6.1.1.4 CENÁRIO 4

- SEM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.7 apresenta os volumes totais alocados e as vazões totais para as respectivas demandas, sem integração das águas do rio São Francisco, para os 672 meses analisados.

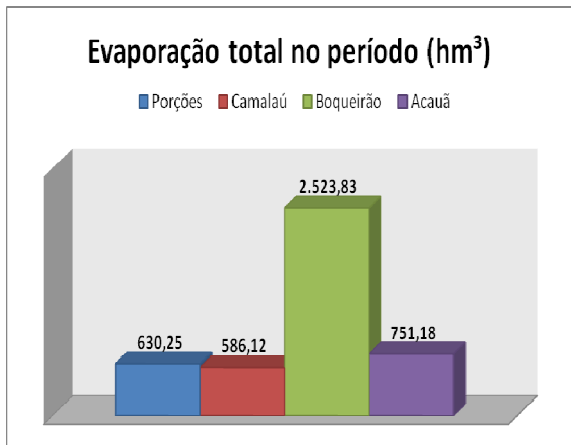
As perdas totais para o Cenário 4 sem transposição foi de 16.321,29 hm<sup>3</sup>, sendo de 4.491,37 hm<sup>3</sup> para perdas por evaporação, 7.532,94 hm<sup>3</sup> para perdas por vertimento e de 4.296,98 hm<sup>3</sup> perdas em trânsito nos trechos do rio.

Tendo em vista a baixa confiabilidade de atendimento as demandas de irrigação para esse cenário, não haveria disponibilidade hídrica para reativar as atividades agrícolas desses perímetros considerando a área total do projetos.

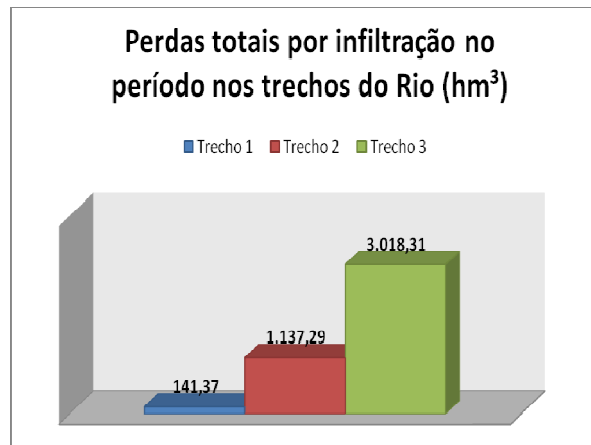
**Tabela 6.7** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 sem transposição para ROCR

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 4			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Irrigação Porções	38,26	0,16	13,24%
Irrigação Cordeiro	36,69	0,07	28,86%
Irrigação Vereda Grande	31,59	0,13	13,54%
Total	2.226,44	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.



**Figura 6.16** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 sem transposição para ROCR



**Figura 6.17** – Perdas no leito do rio no Cenário 4 sem transposição para ROCR

As perdas de Porções para Camalaú foram baixas, por que o volume em trânsito, ou seja, as afluições e o vertimento de Porções é bastante pequeno, em consideração ao trecho 3 que liga Boqueirão a Acauã, que por sinal, foram bastante elevadas. Isso ocorre por que os índices de perdas nos trechos 1 e 2 são de 14% nos canais do rio, já no trecho 3 as perdas são de 22%.

- COM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.8 mostra os resultados da simulação para o Cenário 4 com transposição. Nesse cenário considerou-se como prioritária a demanda de abastecimento e após seu atendimento o modelo aloca água para a demanda de irrigação.

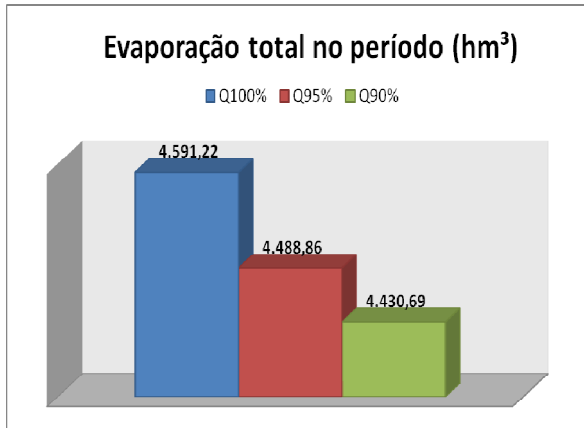
Os atendimentos às demandas de abastecimento, como possuem máxima prioridade, foram atendidos com 100% de garantia, em seguida a irrigação obteve um aumento de sua garantia com relação ao Cenário 4 sem transposição, passando de 13,24% para irrigação de Porções na simulação sem transposição para 99,40% com transposição, tendo um aumento de garantia significativo. Para a irrigação de Cordeiro na simulação sem e com transposição observou-se um aumento no percentual de 0,01 na garantia de atendimento. Para o perímetro Vereda Grande houve um pequeno acréscimo na garantia de atendimento na ordem de 4,61%.

Como o perímetro de Porções está ligado diretamente ao reservatório de Porções, sua garantia de atendimento foi bem superior aos perímetros de Cordeiro e Vereda Grande, cujas captações são feitas diretamente no leito do rio, dificultando a alocação de água para essas demandas, pois os mesmos dependem das afluências naturais no leito do rio e do vertimentos dos reservatórios a montante.

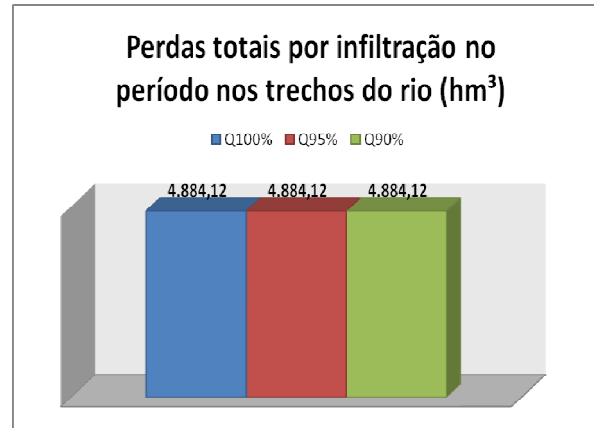
**Tabela 6.8** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 com transposição para ROCR

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 4			
Com Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	8.777,10	4,97	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	10.297,64	5,96	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	10.936,19	6,47	90%
Irrigação Porções	281,31	0,16	99,40%
Irrigação Cordeiro	36,69	0,07	28,87%
Irrigação Vereda Grande	41,88	0,13	18,15%
*Total	11.256,88	-	-
**Total	12.777,42	-	-
***Total	13.415,97	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).



**Figura 6.18** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 com transposição para ROCR

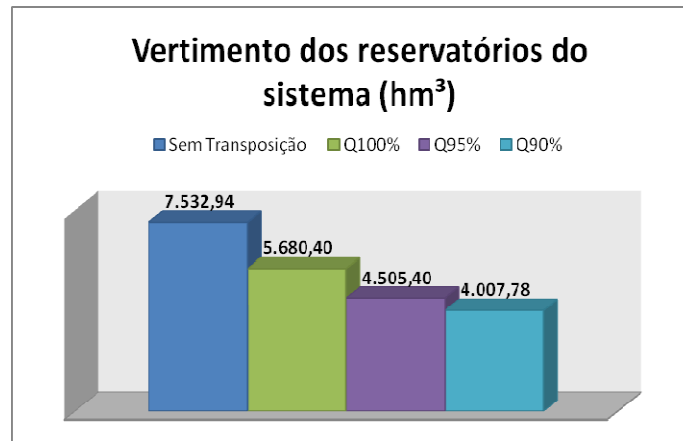


**Figura 6.19** – Perdas no leito do rio no Cenário 4 com transposição para ROCR

O volume total evaporado no Cenário 4 com transposição para os diferentes níveis de garantia estão dispostos na Figura 6.17. Observa-se que na medida em que decresce a confiabilidade reduz o volume evaporado. O volume evaporado para o Cenário 2 com transposição foi o que obteve a menor perda por evaporação para a regra de operação controle rígido, isso foi possível devido a forma da transposição, que foi por adutora, e, também, por possuir demandas hídricas para abastecimento e irrigação, sendo possível alocar mais água.

As perdas totais nos trechos do rio foram superiores em relação às perdas do Cenário 4 sem transposição. Já o volume vertido para o Cenário 4 sem transposição foi superior do que para o Cenário 4 com transposição. Pode-se observar que foram os menores volumes vertidos em todos os cenários anteriormente apresentados, isso tem ocorrido devido o Cenário 4 considerar como forma de transposição a adutora, reduzindo as perdas por evaporação, vertimento e perdas em trânsito.

A soma dos volumes evaporados, vertidos e perdas em trânsito foi de 15.155,74 hm<sup>3</sup> para a vazão regularizada em Acauã com garantia de 100%, de 13.878,38 hm<sup>3</sup> para 95% e de 13.322,59 hm<sup>3</sup> para 90%.



**Figura 6.20** – Volumes vertidos no cenário 4 sem e com transposição para ROCR

### 6.1.2 REGRA DE OPERAÇÃO COM VOLUME MÍNIMO (ROVM)

Essa regra de operação permite manter o volume do reservatório próximo do mínimo, com o objetivo de reduzir as perdas por evaporação e vertimento e, ainda, permite que eventuais excessos de vazão afluente no inverno possam ser armazenados em maiores quantidades.

#### 6.1.2.1 CENÁRIO 1

Conforme o Capítulo IV, nesse cenário foi considerado as demandas de abastecimento atual para os reservatórios e para a vazão do rio São Francisco considerou-se a transposição pelo leito do rio para os 672 meses analisados.

- SEM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.9 apresenta os volumes totais alocados e as vazões totais para as respectivas demandas, sem transposição do rio São Francisco.

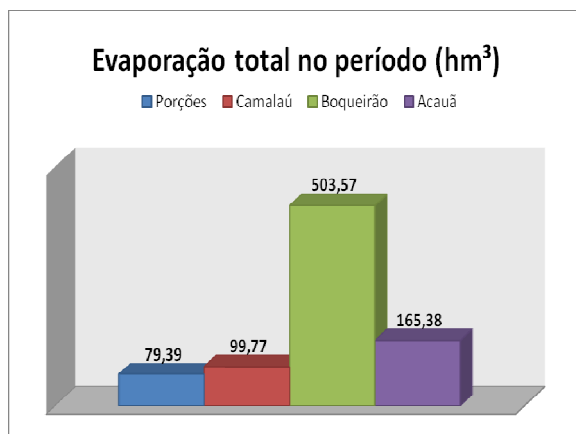
Observa-se que o volume total alocado no Cenário 1 sem transposição para as demandas de abastecimento foi inferior ao volume alocado para o mesmo cenário sem transposição, com a regra de operação controle rígido, conforme Tabela 6.1. Não foi possível obter uma vazão regularizada no reservatório de Acauã com um nível de garantia adequado para fins de abastecimento, logo se considerou igual a zero.

**Tabela 6.9** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 sem transposição para ROVM

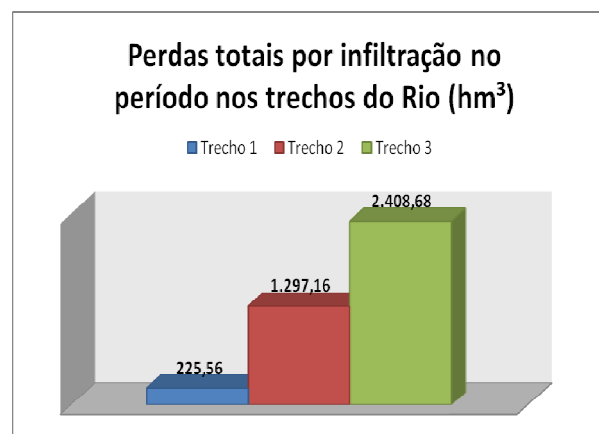
ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 1			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	12,59	0,01	71,28%
Açude Camalaú	13,12	0,01	74,26%
Açude Boqueirão	1.041,23	* variável	43,60%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Total	1.066,94	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.

O volume total evaporado foi de 848,11 hm<sup>3</sup>, Sem dúvida houve uma redução considerável nas perdas por evaporação, isso foi possível devido à regra de operação adotada, que permitem operar os reservatórios no volume mínimo, reduzindo, assim, a área do espelho de água e, conseqüentemente, as perdas por evaporação. Já as perdas nos trechos do rio foram superiores as perdas do Cenário 1 sem transposição para a ROCR, conforme mostra a Figura 6.21.



**Figura 6.21** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 1 sem transposição para ROVM



**Figura 6.22** – Perdas no leito do rio no Cenário 1 sem transposição para ROVM

- COM TRANSPOSIÇÃO

Na Tabela 6.10 estão dispostos os resultados da simulação para o Cenário 1 com transposição, para os 672 meses analisados.

**Tabela 6.10** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 1 com transposição para ROVM

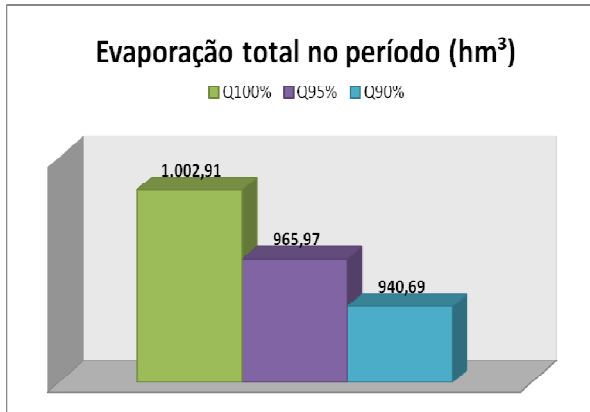
ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 1			
Com Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	3.178,83	1,8	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	3.856,73	2,22	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	4.210,71	2,48	90%
*Total	5.298,73	-	-
**Total	5.976,63	-	-
***Total	6.330,61	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3,4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).

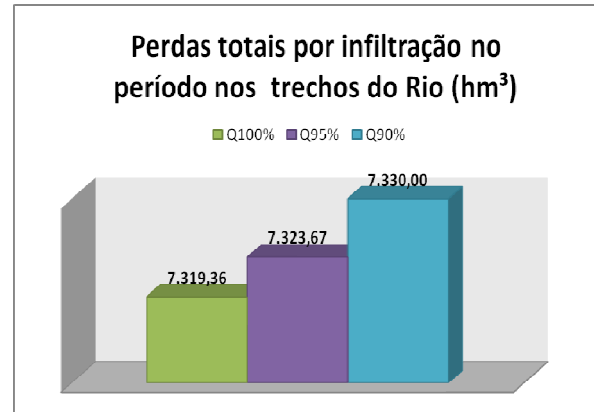
Os volumes totais alocado para o Cenário 1 com transposição para os diferentes níveis de garantia da vazão regularizada em Acauã foi inferior ao Cenário 1 com transposição e ROCR são mostrado na Tabela 6.2.

Percebe-se, conforme a Tabela 6.10, que a garantia de atendimentos às demandas de abastecimentos dos reservatórios obtiveram um aumento na confiabilidade com relação ao Cenário 1 sem transposição para a mesma regra de operação, passando de 71,28% para 100% no reservatório de Porções, de 74,26% para 100% em Camalaú e de 43,60% para 100% em Boqueirão, garantindo assim o abastecimento humano.

Observa-se na Figura 6.3 que o volume de água evaporado foi maior para a simulação do Cenário 1 com transposição, pois, com o aporte hídrico, mais água foi evaporada e as demandas hídricas dos reservatórios foram atendidas com garantias de 100%. À medida que se reduz a garantia de atendimento aumenta-se o volume utilizado e, conseqüentemente, reduz-se o volume evaporado.



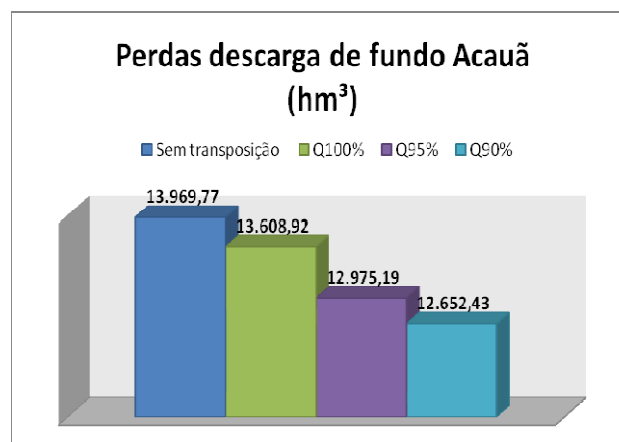
**Figura 6.23** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 1 com transposição para ROVM



**Figura 6.24** – Perdas no leito do rio no Cenário 1 com transposição para ROVM

As perdas nos trechos do rio aumentam conforme reduz a garantia de atendimento como mostra a Figura 6.23, isso ocorreu por que uma maior quantidade de água foi alocada para atendimento às demandas, tendo que ser transportada pelo rio ocorrendo perdas no leito do rio. Já as perdas por descarga de fundo ocorridas no reservatório de Acauã foi devido à política de operação que considerou como volume operacional do reservatório o mínimo.

As perdas totais foram de 21.931,19 hm³ para vazão regularizada de 100% em Acauã, de 21.264,83 hm³ para 95% e de 20.923,13 hm³ para 90%. Percebe-se na Figura 6.25 que as perdas por descarga de fundo foram as mais elevadas, devido a regra de operação que induz o reservatório a operar no volume mínimo de sua capacidade, não permitindo por sua vez acumulação de água no reservatório.



**Figura 6.25** – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 1 sem e com transposição para ROVM



## 6.1.2.2 CENÁRIO 2

- SEM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.11 mostra os resultados da simulação para o Cenário 2 sem transposição, os volumes alocados para as demandas hídricas, a vazão requerida em cada demanda e a garantia de atendimento, para os 672 meses analisados.

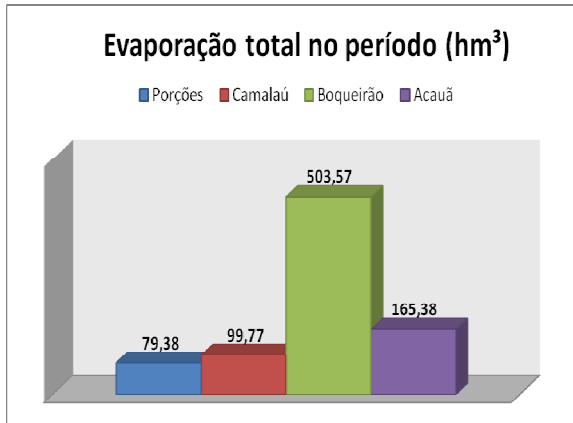
**Tabela 6.11** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias para o Cenário 2 sem transposição para ROVM

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 2			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	12,59	0,01	71,28%
Açude Camalaú	13,12	0,01	74,26%
Açude Boqueirão	1.041,23	* variável	43,60%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Irrigação Porções	54,24	0,16	18,15%
Irrigação Cordeiro	29,88	0,07	24,11%
Irrigação Vereda Grande	57,10	0,13	24,70%
Total	1.208,16	-	-

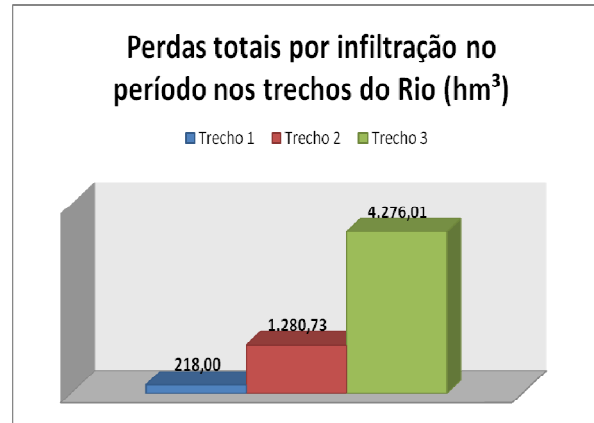
(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6.11, o volume total alocado para o atendimento as demandas hídricas de abastecimento e irrigação foi superior ao volume alocado para o Cenário 1 sem transposição e ROVM.

As garantias de atendimento para as demandas hídricas de abastecimento foram abaixo do nível de garantia necessário para a finalidade de abastecimento humano. Já para as demandas de irrigação os níveis de garantia foram bem inferior ao nível usualmente adotado para fins irrigação.



**Figura 6.26** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 2 sem transposição para ROVM



**Figura 6.27** – Perdas no leito do rio no Cenário 2 sem transposição para ROVM

O volume total evaporado para o Cenário 2 sem transposição foi de 847,90 hm<sup>3</sup>, sendo o maior volume para o reservatório de Boqueirão, devido a sua maior capacidade de acumulação (411,686 hm<sup>3</sup>). Já as perdas nos trechos do rio totalizaram 5.774,74 hm<sup>3</sup>, sendo o trecho 3 onde ocorrem as maiores perdas, pois o coeficiente de perdas nesse trecho é de 22%. E as perdas totais para esse cenário foi de 16.907,34 hm<sup>3</sup>.

- COM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.12 mostra os resultados da simulação para o Cenário 2 com transposição. Os requerimentos hídricos para abastecimento e irrigação foram completamente atendidos em todos os meses da simulação, como mostra o nível da garantia de atendimento que foram 100% para as demandas hídricas.

Verifica-se que houve um aumento na confiabilidade de atendimento a demanda hídrica de irrigação no Cenário 2 sem transposição e o Cenário 2 com transposição, que evoluíram de 18,15% para o perímetro de Porções, 24,11% para irrigação em Cordeiro e 24,70% para a irrigação do perímetro Vereda Grande, para 100% de confiabilidade em todos os perímetros.

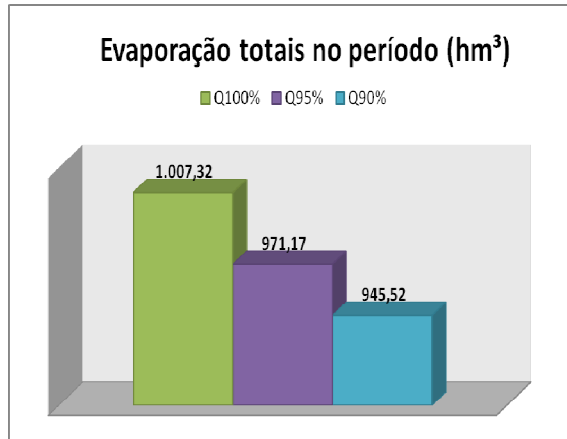
**Tabela 6.12** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 2 com transposição para ROVM

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 2			
Com Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	2.366,46	1,34	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	3.013,40	1,74	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	3.354,52	1,99	90%
Irrigação Porções	282,56	0,16	100%
Irrigação Cordeiro	123,62	0,07	100%
Irrigação Vereda Grande	229,58	0,13	100%
*Total	5.122,12	-	-
**Total	5.769,06	-	-
***Total	6.110,18	-	-

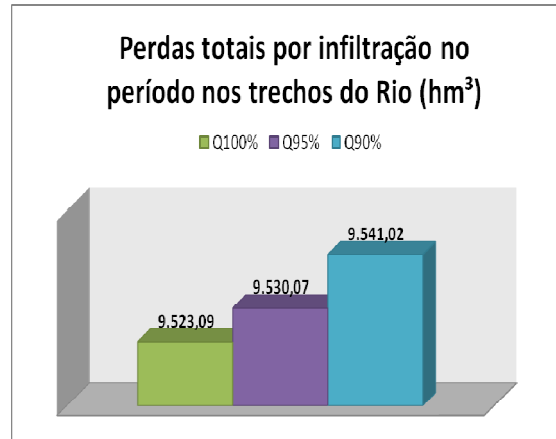
(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã (Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).

O volume total evaporado para esse cenário foi de 2.924,01 hm<sup>3</sup>. Verifica-se que à medida que decresce o nível de garantia reduz-se o volume evaporado. Já a perda nos trechos do rio cresce com o decréscimo do nível de garantia, isso era de se esperar, pois a forma de transposição para esse cenário foi pelo leito do rio e as perdas em trânsito estão diretamente ligadas ao volume alocado.

As perdas totais para o Cenário 2 com transposição foram de 20.482,39 hm<sup>3</sup> para a garantia de 100% da vazão regularizada, de 19.934,49 hm<sup>3</sup> para 95% e de 19.650,16 hm<sup>3</sup> para 90%. Foram bem superiores do que as perdas para o Cenário 2 sem transposição que totalizaram 16.907,34 hm<sup>3</sup>,

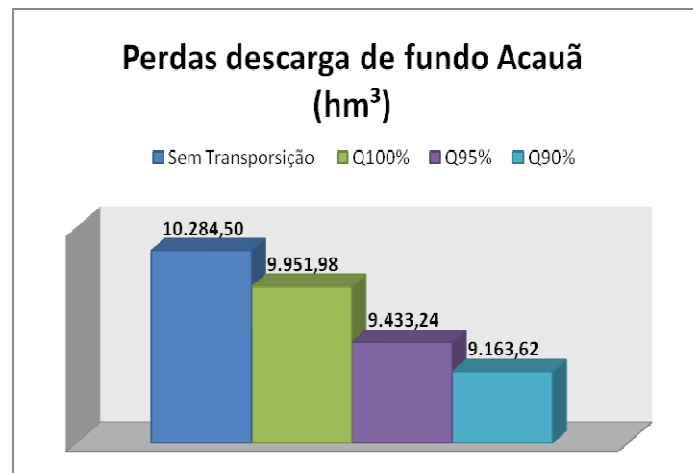


**Figura 6.28** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 2 com transposição para ROVM



**Figura 6.29** – Perdas no leito do rio no Cenário 2 com transposição para ROVM

As perdas por descarga de fundo no reservatório de Acauã para o Cenário 2 sem transposição foi superior as perdas para o Cenário 2 com transposição, como mostra a Figura 6.29. Esses volumes perdidos foram altos devido à regra de operação adotada, que possibilita o reservatório operar em seu volume mínimo e, com isso, observou-se que a evaporação foi reduzida significativamente, mas, por outro lado, um grande volume de água foi perdido por descarga de fundo.



**Figura 6.30** – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 2 sem e com transposição para ROVM

## 6.1.2.3 CENÁRIO 3

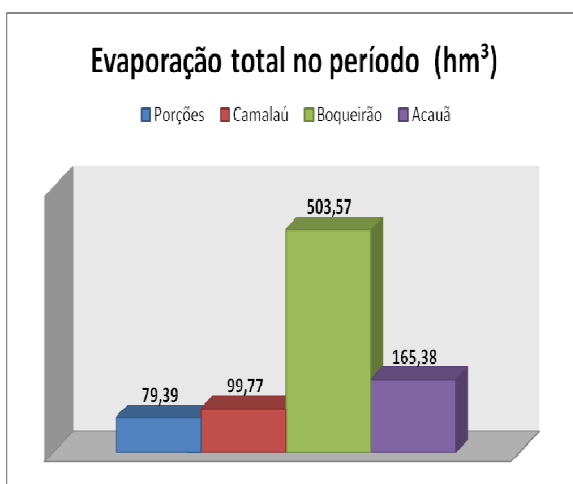
- SEM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.13 mostra os resultados da simulação para o Cenário 3 sem transposição. Os requerimentos hídricos para abastecimento foram parcialmente atendidos em todos os meses da simulação, como mostra os níveis de garantia de atendimento expostos. As baixas confiabilidades de atendimento às demandas, ocorreram devido à regra de operação que permite que o reservatório opere em seu volume mínimo, com isso, o número de meses em que não há armazenamento e nem afluência suficiente para garantir o atendimento aumentou.

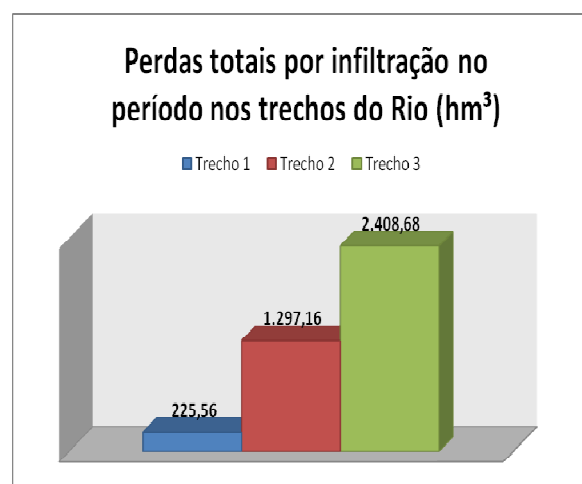
**Tabela 6.13** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 sem transposição para ROVM

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 3			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	12,59	0,01	71,28%
Açude Camalaú	13,12	0,01	74,26%
Açude Boqueirão	1.041,23	* variável	43,60%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Total	1.066,94	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.



**Figura 6.31** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 sem transposição para ROVM



**Figura 6.32** – Perdas no leito do rio no Cenário 3 sem transposição para ROVM

- COM TRANSPOSIÇÃO

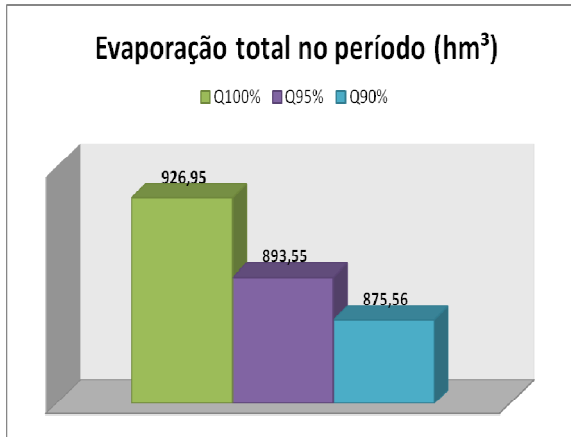
A Tabela 6.14 mostra os resultados da simulação para o Cenário 3 com transposição. Os requerimentos hídricos para abastecimento foram totalmente atendidos em todos os meses da simulação, como mostra o nível da garantia de atendimento na Tabela 6.14.

**Tabela 6.14** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 3 com transposição para ROVM

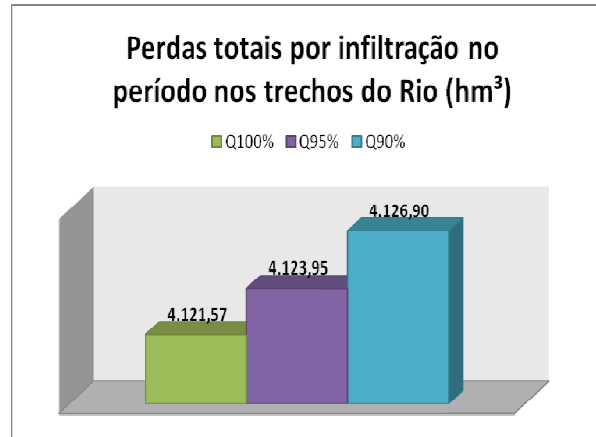
ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 3			
Com Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	6.498,94	3,68	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	7.190,32	4,11	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	7.481,54	4,33	90%
*Total	8.618,84	-	-
**Total	9.310,22	-	-
***Total	9.601,44	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).

A vazão regularizada em Acauã para o Cenário 3 com transposição foram bem superiores a vazão regularizada no Cenário 2 com transposição, conforme mostra a Tabela 6.12. Isso foi possível, pois os Cenários 2 e 3 diferem na sua forma de transposição, o Cenário 2 utiliza o leito do rio, enquanto o Cenário 3 faz uso de uma adutora e obtêm valores superiores nas vazões regularizadas, proveniente da redução da evaporação e perdas em trânsito.



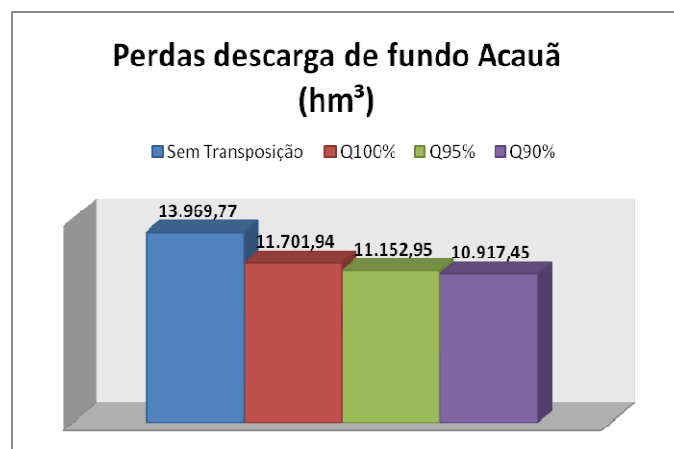
**Figura 6.33** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 3 com transposição para ROVM



**Figura 6.34** – Perdas no leito do rio no Cenário 3 com transposição para ROVM

Percebe-se que, na medida em que decresce a confiabilidade das vazões, reduz-se o volume evaporado. Já as perdas nos trechos do rio para o Cenário 3 com transposição, de acordo com a Figura 6.33, foram inferiores em relação ao Cenário 2 com transposição, conforme mostra a Figura 6.28.

Com relação às perdas por descarga de fundo em Acauã, pode-se observar que foram altas em relação ao Cenário 2 com transposição. Isso ocorreu pelo fato do Cenário 2 considerar as demandas de abastecimento e irrigação, logo um maior volume foi alocado para essas demandas. Por outro lado, o Cenário 3 considera apenas a demanda de abastecimento e um maior volume de água é liberado por descarga de fundo em Acauã.



**Figura 6.35** – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 3 sem e com transposição para ROVM

## 6.1.2.4 CENÁRIO 4

- SEM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.15 mostra os resultados da simulação para o Cenário 4 sem transposição, para os 672 meses analisados. Os requerimentos hídricos para abastecimento foram parcialmente atendidos em todos os meses da simulação, como mostra o nível da garantia de atendimento.

Os volumes totais alocados para as demandas de abastecimento e irrigação deste cenário foram inferiores com relação aos volumes totais alocados para as demandas hídrica do Cenário 4 sem transposição e ROCR.

**Tabela 6.15** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 sem transposição para ROVM

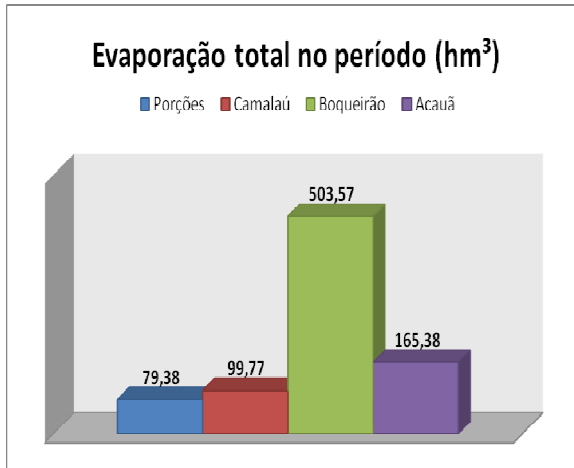
ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 4			
Sem Transposição	Volume Total Alocado (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	12,59	0,01	71,27%
Açude Camalaú	13,12	0,01	74,25%
Açude Boqueirão	1.041,23	* variável	43,60%
Açude Acauã (Q <sub>reg</sub> )	0	0	100%
Irrigação Porções	54,24	0,16	18,15%
Irrigação Cordeiro	29,88	0,07	24,11%
Irrigação Vereda Grande	57,10	0,13	24,70%
Total	1.208,16	-	-

(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3.4 do Capítulo 3.

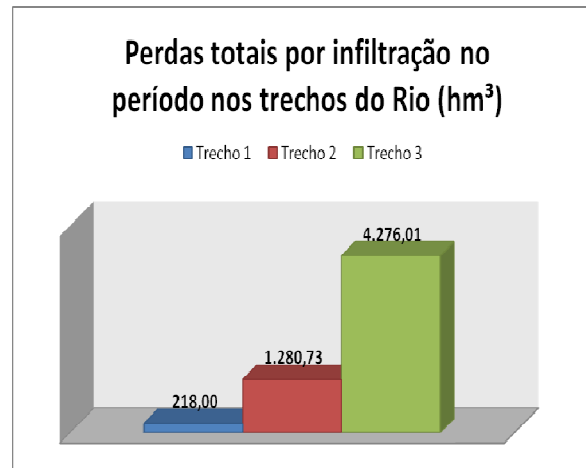
A perda total para o Cenário 4 sem transposição foi de 16.907,34 hm<sup>3</sup>, sendo de 848,09 hm<sup>3</sup> para perdas por evaporação, 10.284,50 hm<sup>3</sup> para perdas por descarga de fundo e e de 5.774,74 hm<sup>3</sup> perdas em trânsito nos trechos do rio.

Tendo em vista a baixa confiabilidade de atendimento para as demandas de irrigação para esse cenário, seria impossível permanecerem ativos os perímetros, pois não teriam água suficiente para a irrigação da área total considerada.





**Figura 6.36** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 sem transposição para ROVM



**Figura 6.37** – Perdas no leito do rio no Cenário 4 sem transposição para ROVM

- COM TRANSPOSIÇÃO

A Tabela 6.16 mostra os resultados da simulação para o Cenário 4 sem transposição, para os 672 meses analisados. Os requerimentos hídricos para abastecimento foram totalmente atendidos em todos os meses da simulação, como mostra o nível da garantia de atendimento na Tabela 6.16.

As retiradas para o abastecimento humano foram atendidas com uma garantia de 100%, o modelo alocou toda a água disponível para essa demanda, por ter maior prioridade com relação a irrigação, que possui a segunda prioridade. As irrigações foram atendidas com um nível de confiabilidade incompatível para essa finalidade, sendo a garantia de atendimento mais baixa para a irrigação em Cordeiro e mais alta para o perímetro Vereda Grande.

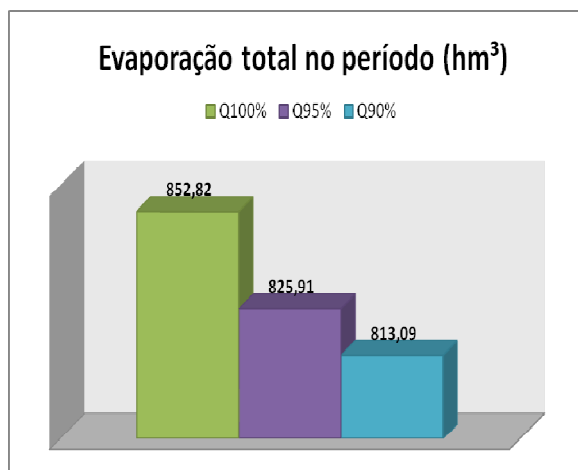
As perdas totais para o Cenário 4 com transposição e diferentes níveis de garantia da vazão regularizada em Acauã foram de 16.746,31 hm³ para 100%, de 16.201,19 para 95% e de 15.991,15 hm³. Essas perdas foram superiores as perdas totais para o Cenário 4 com transposição e ROCR.

As perdas pela descarga de fundo no reservatório de Acauã foram inferiores àquelas do Cenário 3 com transposição, ambos possuem a mesma forma de transposição por adutora, porém o Cenário 4 com transposição considera as demandas de abastecimento e irrigação, com isso, um maior volume de água foi alocado reduzindo as perdas pela descarga de fundo em Acauã.

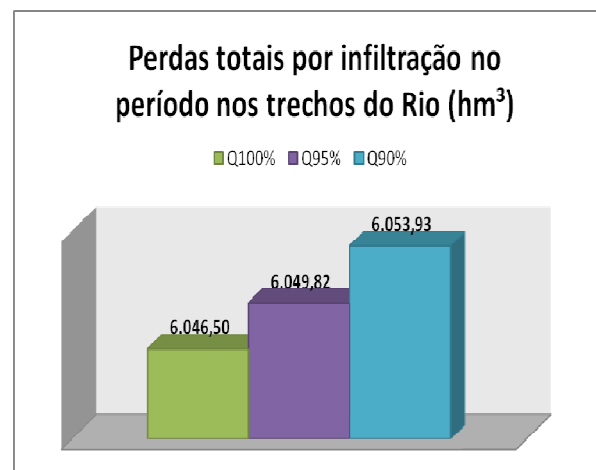
**Tabela 6.16** – Alocação de água para as demandas, vazões mensais e suas garantias no Cenário 4 com transposição para ROVM

ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA AS DEMANDAS – CENÁRIO 4			
Com Transposição	Volume Total Alocada (hm <sup>3</sup> )	Demanda Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Garantia
Açude Porções	17,66	0,01	100%
Açude Camalaú	17,66	0,01	100%
Açude Boqueirão	2.084,58	* variável	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	6.340,00	3,59	100%
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	6.996,33	4,00	95%
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	7.244,78	4,18	90%
Irrigação Porções	177,16	0,16	57,73%
Irrigação Cordeiro	74,00	0,07	56,99%
Irrigação Vereda Grande	175,57	0,13	74,25%
*Total	8.886,63	-	-
**Total	9.542,96	-	-
***Total	9.791,41	-	-

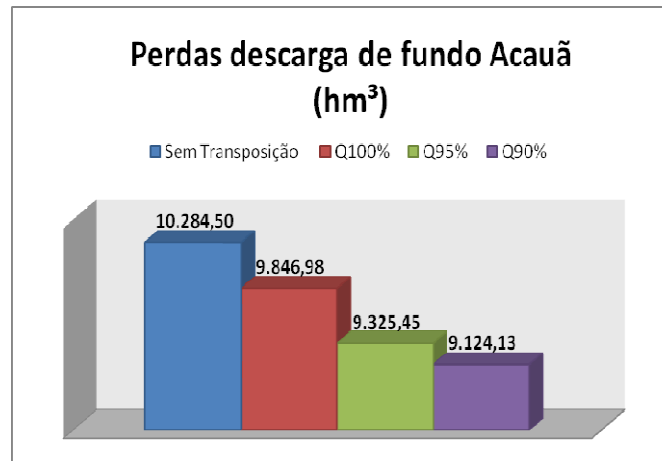
(\*) A demanda do Açude Boqueirão é variável e encontra-se descrita na Tabela 3,4 do Capítulo 3. \*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 1</sub>); \*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 2</sub>); \*\*\*Total - considerando para o Aç.Acauã(Q<sub>reg 3</sub>).



**Figura 6.38** – Evaporação nos Reservatórios no Cenário 4 com transposição para ROVM



**Figura 6.39** – Perdas no leito do rio no Cenário 4 com transposição para ROVM



**Figura 6.40** – Perdas por descarga de fundo em Acauã no Cenário 4 sem e com transposição para ROVM

## 6.2 – RESULTADOS DA SINERGIA HÍDRICA PARA CADA REGRA DE OPERAÇÃO

### 6.2.1 REGRA DE OPERAÇÃO COM CONTROLE RÍGIDO (ROCR)

A Tabela 6.17 apresenta os seguintes resultados da simulação para o Cenário 1: o volume total alocado sem e com transposição, o volume aduzido da transposição, o ganho sinérgico, a vazão regularizada e a garantia de atendimento à demanda, para os 672 meses analisados.

Para a obtenção da sinergia utilizou-se a equação 4.1:

$$SIN = V_{ADCT} - V_{ADST} - V_{TA} \quad (4.1)$$

Onde:

$SIN$  – Sinergia Hídrica

$V_{ADCT}$  – Volume total alocado para as demandas com determinada vazão da transposição

$V_{ADST}$  – Volume total alocado para as demandas sem transposição

$V_{TA}$  – Volume total aduzido

Observa-se que para os Cenários 1 (demanda de abastecimento) e 2 (demandas de abastecimento e irrigação), onde foi considerada que transposição seja feita pelo leito do rio, houve ganho sinérgico negativo, ou seja, além das perdas naturais do sistema, parte da água da transposição do São Francisco foi perdida, seja por evaporação, vertimento ou ainda perdas em trânsito no leito do rio. O volume alocado no Cenário 2 foi maior devido a

consideração das demandas de abastecimento e irrigação. Os resultados atestam, tendo em vista dos ganhos sinérgico, que essa forma de transposição de água, onde as perdas foram bastante elevadas, não seria a melhor forma.

**Tabela 6.17 – Sinergia hídrica para os Cenários 1 e 2 para ROCR**

<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 1</b>					
<b>Volume total alocado com transposição do São Francisco</b>	<b>Volume total alocado sem transposição do São Francisco</b>	<b>Volume Total transposto (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ganho Sinérgico (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vazão regularizada em Acauã (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Garantia da Q<sub>reg</sub> (%)</b>
7.135,38	2.119,90	7.417,27	-2.401,78	2,84	100%
8.321,45	2.119,90	7.417,27	-1.215,72	3,66	95%
8.889,61	2.119,90	7.417,27	-647,56	4,17	90%
<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 2</b>					
7.230,61	2.226,45	7.417,27	-2.413,11	2,63	100%
8.474,87	2.226,45	7.417,27	-1.168,85	3,48	95%
8.994,45	2.226,45	7.417,27	-649,27	3,95	90%

- Q<sub>reg</sub> = Vazão regularizada em Acauã.

A Tabela 6.18 mostra os resultados da simulação para os Cenários 3 e 4 e ROCR para o volume total alocado sem e com transposição, o volume aduzido da transposição, o ganho sinérgico, a vazão regularizada e a garantia de atendimento à demanda, para os 672 meses analisados.

Diferente dos resultados da Tabela 6.17 para os Cenários 1 e 2, os resultados para os Cenários 3 e 4 mostram que nesses cenários ocorreram os maiores ganhos sinérgicos. Era de se esperar, pois a forma de transposição utilizada para as águas do rio São Francisco foi por adutora, reduzindo, assim, substanciais perdas de volumes de água antes evaporados, vertidos ou em forma de perdas em trânsitos, sendo os volumes alocados para as demandas prioritárias de abastecimento e em seguida irrigação.

Na medida em que se reduz a garantia da vazão regularizada em Acauã, aumenta-se consideravelmente o ganho sinérgico, tendo em vista que um maior volume de água é disponibilizado para atendimento às demandas.

As sinergias hídricas obtidas para o Cenário 3 para os diferentes níveis de garantia foram crescentes, a medida em que decresciam as garantias de atendimento às demandas de

vazão regularizada em Acauã. Já para o Cenário 4, no qual se incrementou a demanda de irrigação, foi onde obteve o maior ganho sinérgico dentre todos os cenários simulados nessa pesquisa.

**Tabela 6.18** – Resultado da Sinergia hídrica para os Cenários 3 e 4 para ROCR

<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 3</b>					
<b>Volume total alocado com adução de vazão exógena</b>	<b>Volume total alocado sem adução de vazão exógena</b>	<b>Volume Total transposto (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ganho Sinérgico (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vazão regularizada em Acauã (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Garantia da Q<sub>reg</sub> (%)</b>
11.055,94	2.119,90	7.417,27	1.518,77	5,06	100%
12.496,94	2.119,90	7.417,27	2.959,77	6,00	95%
13.239,78	2.119,90	7.417,27	3.702,62	6,57	90%
<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 4</b>					
11.256,88	2.226,45	7.417,27	1.613,16	4,97	100%
12.782,10	2.226,45	7.417,27	3.138,38	5,96	95%
13.428,67	2.226,45	7.417,27	3.784,95	6,47	90%

- Q<sub>reg</sub> = Vazão regularizada em Acauã.

## 6.2.2 REGRA DE OPERAÇÃO COM VOLUME MÍNIMO (ROVM)

A Tabela 6.19 mostra os resultados da simulação para os Cenários 1 e 2 para o volume total alocado sem e com transposição, o volume aduzido da transposição, o ganho sinérgico, a vazão regularizada e a garantia de atendimento à demanda.

Os resultados da sinergia hídrica para esses cenários foram negativos, devido à regra de operação para esses cenários, a qual permite que os reservatórios operem na capacidade mínima, onde se reduziu consideravelmente as perdas por evaporação, em contra partida, reduziu a confiabilidade de atendimento às demandas nas simulações realizadas sem transposição. Outro fator que contribuiu para esses resultados, foi a forma de transposição das águas do São Francisco que utilizou o leito do rio, comprovando que ocorre perdas consideráveis para essa forma de transposição.

Na medida em que decresce a garantia de atendimento às vazões regularizadas em Acauã, reduz-se as perdas das águas do São Francisco, como mostra a Tabela 6.19 e conseqüentemente, aumenta as sinergias hídricas para os Cenário 1 e 2. A Tabela 6.20 mostra os resultados da simulação para os Cenários 3 e 4.

Os resultados mostram que houve um ganho sinérgico, inferior ao dos Cenários 1 e 2 para ROCR (Tabela 6.18). Isso ocorreu por que a regra de operação adotada para os Cenários 3 e 4 permite que os reservatórios operem no volume mínimo, capaz de reduzir as perdas por evaporação e vertimento, mas, por outro lado, observou-se que os mesmos não possuem capacidade de alocar um maior volume de água e, conseqüentemente, perde-se um considerável volume de água pelo descarregador de fundos em Acauã.

**Tabela 6.19** – Resultado da Sinergia hídrica para os Cenários 1 e 2 para ROVM

<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 1</b>					
<b>Volume total alocado com adução de vazão exógena</b>	<b>Volume total alocado sem adução de vazão exógena</b>	<b>Volume Total transposto (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ganho Sinérgico (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vazão regularizada em Acauã (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Garantia da Q<sub>reg</sub> (%)</b>
5.298,73	1.066,94	7.417,27	-3.185,48	1,8	100%
5.976,63	1.066,94	7.417,27	-2.507,58	2,22	95%
6.330,60	1.066,94	7.417,27	-2.153,61	2,48	90%
<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 2</b>					
5.122,12	1.208,16	7.417,27	-3.503,30	1,34	100%
5.769,06	1.208,16	7.417,27	-2.856,37	1,74	95%
6.110,18	1.208,16	7.417,27	-2.515,25	1,99	90%

- Q<sub>reg</sub> = Vazão regularizada em Acauã.

Na medida em que se reduz a garantia da vazão regularizada em Acauã, aumenta-se o ganho sinérgico, tendo em vista, que um maior volume de água foi disponibilizado para atendimentos as demandas, tendo um ganho sinérgico maior no Cenário 4 devido ao uso da água na irrigação.

**Tabela 6.20** – Resultado da Sinergia hídrica para os Cenários 3 e 4 para ROVM

<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 3</b>					
<b>Volume total alocado com adução de vazão exógena</b>	<b>Volume total alocado sem adução de vazão exógena</b>	<b>Volume Total transposto (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ganho Sinérgico (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vazão regularizada em Acauã (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Garantia da Q<sub>reg</sub> (%)</b>
8.618,84	1.066,94	7.417,27	134,63	3,68	100%
9.310,22	1.066,94	7.417,27	826,01	4,11	95%
9.601,44	1.066,94	7.417,27	1.117,23	4,33	90%
<b>SINERGIA HÍDRICA – CENÁRIO 4</b>					
8.886,00	1.208,16	7.417,27	260,57	3,59	100%
9.698,08	1.208,16	7.417,27	1.072,65	4,00	95%
9.790,78	1.208,16	7.417,27	1.165,35	4,18	90%

- Q<sub>reg</sub> = Vazão regularizada em Acauã

## 6.3 INDICADORES DE DESEMPENHO DO SISTEMA

### 6.3.1 REGRA DE OPERAÇÃO COM CONTROLE RÍGIDO (ROCR)

- CENÁRIO 1

A Tabela 6.21, apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento às demandas dos reservatórios estudados, para a simulação do Cenário 1 sem e com transposição para a ROCR..

Os reservatórios de Porções, Camalaú e Boqueirão tiveram um desempenho satisfatório com relação à alocação de água para as demandas hídricas de abastecimento para o Cenário 1 sem e com transposição, obtendo uma confiabilidade de 100%, ou seja, não ocorreram falhas no atendimento dessas demandas.

Ainda pode ser observado na Tabela 6.21 que apesar de existir uma boa confiabilidade para as vazões regularizadas, os baixos indicadores de resiliência apresentados, que mostram que os mesmos demoram muito para se recuperar quando entram em estado de falha, e os altos indicadores de vulnerabilidade, indicando o percentual médio nas falhas ao requerimento hídrico, limitam consideravelmente o uso do excedente hídrico.

**Tabela 6.21** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 1 sem e com transposição para ROCR

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 1 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 1 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg 1}$ )	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg 2}$ )	95	26,47	81,10	4,75
Açude Acauã ( $Q_{reg 3}$ )	90	19,40	81,63	3,21

- CENÁRIO 2

A Tabela 6.22 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento às demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 2 sem e com transposição para a ROCR

A confiabilidade para as demandas de abastecimento nas simulações sem e com transposição foram de 100%. Em contra partida as irrigações obtiveram, para a simulação sem transposição, baixa confiabilidade, resiliência e sustentabilidade e alta vulnerabilidade orientando a não praticar-se tal atividade.

Com as águas da transposição houve melhoras com relação ao atendimento as demandas de irrigação e da vazão regularizada em Acauã, onde as mesmas alcançaram altos índices de confiabilidade e resiliência e baixo índice de vulnerabilidade, com exceção para a irrigação no perímetro Vereda Grande. Este perímetro não obteve grandes melhoras, ou seja, a sua confiabilidade aumentou 12,06% e ainda permaneceu baixa, agravado pela baixa resiliência e alta vulnerabilidade, que sugerem não praticar tal atividade.

**Tabela 6.22** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 2 sem e com transposição para ROCR

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 2 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Irrigação Porções	13,24	5,32	99,89	0
Irrigação Cordeiro	28,87	10,25	98,95	0,03
Irrigação Vereda Grande	13,54	4,65	99,79	0
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 2 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg 1}$ )	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg 2}$ )	95	22,86	80,91	4,15
Açude Acauã ( $Q_{reg 3}$ )	90	17,91	82,18	2,87
Irrigação Porções	100	100	0	100
Irrigação Cordeiro	99,70	50	14,29	42,73
Irrigação Vereda Grande	25,60	8,40	99,43	0,01



- CENÁRIO 3

A Tabela 6.23 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento às demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 3 sem e com transposição para a Regra de Operação Controle Rígido.

De acordo com os resultados às demandas para o abastecimento humano foram completamente atendidas (100% de confiabilidade), ou seja, não houveram falhas. Já a vazão regularizada em Acauã no Cenário 2 com transposição  $Q_{reg2}$  com 95% de garantia, fica em média 11,33 meses no estado de falha, enquanto a  $Q_{reg3}$  com 90% fica em média, 6,6 meses no estado de falha, ambas com vulnerabilidade superior a 40%, indicando restrições quanto ao uso do excedente hídrico.

**Tabela 6.23** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 3 sem e com transposição para ROCR

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 3 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 3 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg1}$ )	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg2}$ )	95	8,82	40,94	4,95
Açude Acauã ( $Q_{reg3}$ )	90	15,15	42,70	7,81

- CENÁRIO 4

A Tabela 6.24 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento às demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 4 sem e com transposição para a ROCR.

Observa-se no Cenário 4, que as demandas hídricas de abastecimento obtiveram um excelente indicador de confiabilidade. Já para as demandas de irrigação, os indicadores de confiabilidade e resiliência foram baixos e apresentam altas vulnerabilidades e baixa sustentabilidade, recomendando a não se praticar estas atividades.

**Tabela 6.24** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 4 sem e com transposição para ROCR

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 4 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Irrigação Porções	13,24	5,32	99,89	0
Irrigação Cordeiro	28,87	10,25	98,95	0,03
Irrigação Vereda Grande	13,54	4,65	99,79	0
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 4 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	100	100	0	100
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	95	8,82	41,96	4,86
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	90	15,38	43,47	7,82
Irrigação Porções	99,40	50	73,44	13,21
Irrigação Cordeiro	28,87	10,25	98,95	0,03
Irrigação Vereda Grande	18,15	5,82	99,97	0

### 6.3.2 REGRA DE OPERAÇÃO COM VOLUME MÍNIMO (ROVM)

- CENÁRIO 1

A Tabela 6.25 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento as demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 1 sem e com transposição para a ROVM.

**Tabela 6.25** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 1 sem e com transposição para ROVM

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 1 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	71,28	31,60	100	0
Açude Camalaú	74,26	40,46	100	0
Açude Boqueirão	43,60	15,30	87,04	0,86
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 1 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg\ 1}$ )	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg\ 2}$ )	95	35,30	32,39	22,67
Açude Acauã ( $Q_{reg\ 3}$ )	90	32,35	38,51	17,90

As demandas de abastecimento, sem transposição, não obtiveram boa confiabilidade (inferior a 90%), principalmente aquela ligada ao açude de Boqueirão, no qual obteve 43,60%, ou seja, na maioria dos meses da simulação, esse reservatório não consegue atender as demandas. A situação mostra-se agravante, devido aos baixos índices de resiliência e altos índices de vulnerabilidade. E com os baixos indicadores de resiliência apresentados para o Cenário 1 sem transposição, nota-se que os mesmos demoram bastante para se recuperarem quando entro em estado de falhas.

Na simulação com a transposição, observa-se que a sustentabilidade chega a 100%, ou seja, completo atendimento às demandas. Já as vazões regularizadas  $Q_{reg\ 1}$  e  $Q_{reg\ 2}$  apresentam baixos indicadores de resiliência e sustentabilidade, e apresentam uma vulnerabilidade superior a 32%, o que impõe restrições ao uso de vazões excedentes.

- CENÁRIO 2

A Tabela 6.26 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento as demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 2 sem e com transposição para a ROVM.

Os indicadores de confiabilidade obtidos para o cenário sem transposição são incompatíveis com os requerimentos legais e são agravados pelos dados de baixa resiliência (superior a 2,5 meses no estado de falha) e alta vulnerabilidade (superior a 87%).

**Tabela 6.26** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 2 sem e com transposição para ROVM

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 2 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	71,28	32,64	100	0
Açude Camalaú	74,26	39,31	100	0
Açude Boqueirão	43,60	15,30	87,04	0,86
Irrigação Porções	18,15	7,09	98,76	0,02
Irrigação Cordeiro	24,11	8,04	100	0
Irrigação Vereda Grande	24,70	8,89	99,85	0
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 2 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã (Q <sub>reg 1</sub> )	100	100	0	100
Açude Acauã (Q <sub>reg 2</sub> )	95	39,39	39,67	22,58
Açude Acauã (Q <sub>reg 3</sub> )	90	29,85	46,04	14,50
Irrigação Porções	100	100	0	100
Irrigação cordeiro	100	100	0	100
Irrigação Vereda Grande	100	100	0	100

Na simulação do Cenário 2 com transposição, os indicadores de desempenho obtidos apresentam ganhos consideráveis, sendo completamente sustentável no atendimento às demandas hídricas de abastecimento e irrigação. As vazões regularizadas em Acauã com 95% apresentaram uma média de 2,53 meses consecutivos em falhas e disponibilizando 53,96% do volume requerido. No caso de se ter vazões regularizáveis com 90% de garantia, tem-se uma média de 3,35 meses seguidos em falhas, atendendo 60,32% do requerimento hídrico.

- CENÁRIO 3

A Tabela 6.27 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento as demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 3 sem e com transposição para a ROVM.

As demandas de abastecimento não obtiveram boa confiabilidade, principalmente o açude de Boqueirão no qual obteve 43,60%, ou seja, na maioria dos meses da simulação, esse reservatório não consegue atender as demandas. Os baixos índices de resiliência e altos índices de vulnerabilidade mostram o quão grave pode ser as situações de falhas

**Tabela 6.27** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 3 sem e com transposição para ROVM

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 3 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	71,28	31,60	100	0
Açude Camalaú	74,26	40,46	100	0
Açude Boqueirão	43,60	15,30	87,04	0,86
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 3 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg1}$ )	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg2}$ )	95	40,63	19,77	30,97
Açude Acauã ( $Q_{reg3}$ )	90	33,33	22,24	23,33

Na simulação com a transposição, observa-se que a sustentabilidade do atendimento às demandas de abastecimento chega a 100%. Já as vazões regularizadas  $Q_{reg1}$  e  $Q_{reg2}$  apresentam-se baixos indicadores de resiliência e sustentabilidade, e apresentam-se vulneráveis, o que restringe, sobremaneira, o uso do excedente hídrico.

- CENÁRIO 4

A Tabela 6.28 apresenta os indicadores de desempenho para o atendimento as demandas dos reservatórios estudados, para o Cenário 4 sem e com transposição para a ROVM.

Os baixos índices de confiabilidade (inferiores a 90%) e resiliência (de 2,54 a 12,4 meses em estado de falha) e os altos índices de vulnerabilidade (chegando a total falta de água) retratam a baixa sustentabilidade no atendimento às demandas dos açudes.

**Tabela 6.28** – Indicadores de desempenho das demandas no Cenário 4 sem e com transposição para ROVM

<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 4 SEM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	71,28	32,64	100	0
Açude Camalaú	74,26	39,31	100	0
Açude Boqueirão	43,60	15,30	87,04	0,86
Irrigação Porções	18,15	7,09	98,76	0,02
Irrigação cordeiro	24,11	8,04	100	0
Irrigação Vereda Grande	24,70	8,89	99,85	0
<b>INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O CENÁRIO 4 COM TRANSPOSIÇÃO</b>				
Demandas hídricas	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Sustentabilidade (%)
Açude Porções	100	100	0	100
Açude Camalaú	100	100	0	100
Açude Boqueirão	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg 1}$ )	100	100	0	100
Açude Acauã ( $Q_{reg 2}$ )	95	38,24	19,08	29,40
Açude Acauã ( $Q_{reg 3}$ )	90	35,82	18,78	26,18
Irrigação Porções	56,40	22,18	88,80	1,40
Irrigação Cordeiro	55,65	22,48	93,72	0,79
Irrigação Vereda Grande	72,17	27,81	91,65	1,68

Na simulação do Cenário 4 com transposição os indicadores de desempenho apresentaram ganhos consideráveis, atingindo uma sustentabilidade de 100%. Já para as demandas de irrigação, apesar de haver aumento nos índices de confiabilidade e resiliência, assim como redução do índice de vulnerabilidade, a sustentabilidade pode ser considerada crítica, ou seja, não é recomendável esta atividade.

As vazões regularizadas em Acauã com 95% apresentaram uma média de 2,61 meses consecutivos em falhas e disponibilizando 80,92% do volume requerido e com 90% de garantia uma média de 2,79 meses seguidos em falhas, atendendo 81,22% do requerimento hídrico. Tais índices ainda indicam restrições quanto ao uso do excedente hídrico.

## **Capítulo VI**

### **Conclusões**

---

## CONCLUSÕES

As altas taxas de evaporação, as quais estão sujeitas as superfícies livres de água, representam uma perda significativa na disponibilidade hídrica dos reservatórios da região semi-árida do Nordeste. À medida que se busca minimizar as perdas por evaporação e por vertimentos no leito do rio, os sistemas hídricos tornam-se mais eficientes no tocante ao aproveitamento das águas simuladas.

Dentro desse contexto, realizou-se estudos referentes a operação e a avaliação da sinergia advinda da transposição de águas da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco para a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, onde estão inseridos os quatro reservatórios integrantes do sistema estudado. Foram apresentadas duas regras operacionais: Regra de Operação Controle Rígido (ROCR), representativa de regras de operação conservacionistas para os reservatórios, e a Regra de Operação Volume Mínimo (ROVM). Além disso, duas situações de atendimento às demandas foram utilizadas: somente abastecimento humano e abastecimento humano e irrigação. Essas regras operacionais foram simuladas para duas situações distintas, com e sem transposição, podendo a transposição de águas do rio São Francisco ser feita via o leito do rio ou adutoras, gerando, portanto, dezesseis cenários, conforme mostram as Tabelas 4.1 e 4.2. De posse dos resultados da simulação quantificou-se as perdas totais, que seriam o somatório das perdas por evaporação, vertimento e perdas em trânsito no leito do rio. Em seguida calculou-se a Sinergia Hídrica e os indicadores de desempenho do sistema.

As principais conclusões com relação às perdas totais, a sinergia hídrica e os indicadores de sustentabilidade hídrica foram:

O cenário que apresentou maiores perdas totais foi o Cenário 1, com transposição para ROVM, tendo um total de 21.931,19 hm<sup>3</sup> para a Qreg em Acauã com 100% de garantia, 21.264,83 hm<sup>3</sup> para a Qreg com 95% de garantia, e de 20.923,13 hm<sup>3</sup> para a Qreg 90% de garantia. Essas altas perdas ocorreram por que a regra de operação trabalha na cota mínima dos reservatórios, não tendo como disponibilizar um maior volume para as demandas, como também a forma de transposição das águas do São Francisco pelo leito do rio aonde ocorrem altas perdas, adotadas 14% nos trechos 1 e 2 e 22% para o trecho 4. Logo essa seria a pior forma de operar o sistema, tendo em vista as altas taxas de perdas e o menor volume disponibilizado.



Já o cenário que apresentou o menor índice de perdas foi o Cenário 3, com transposição para ROCR, sendo que 15.110,72 hm<sup>3</sup> para a Qreg em Acauã com 100% de garantia, 13.866,95 hm<sup>3</sup> para a Qreg com 95% de garantia e de 13.225,86 hm<sup>3</sup> para a Qreg 90% de garantia. Essa redução nas perdas com relação aos demais cenários foi devido à regra de operação, que, mesmo mantendo o reservatório cheio, possibilitando grandes perdas por evaporação, possibilitou alocar mais água para as demandas hídricas. Também, a forma de transposição do rio São Francisco, que se deu por adutora, onde o abastecimento seria atendido pela adutora e a irrigação pelo leito do rio, permite menos perdas das águas da transposição em trânsito. Esse seria o cenário mais eficiente simulado nesse trabalho, ou seja, capaz de reduzir as perdas e alocar maiores volumes.

Com relação à sinergia hídrica, principal objetivo desse estudo, observando que o Cenário 4 com a operação ROCR obteve o maior ganho sinérgico, tornando o sistema estudado mais eficiente no tocante à maior utilização dos recursos hídricos, para atender às necessidades do uso humano, estimulando o crescimento e o desenvolvimento social e econômico, e da agricultura, e tendo menores perdas por evaporação e vertimento. Isso foi possível, também, quando a transposição das águas do São Francisco for realizada por adutora, possibilitando alocar um maior volume de água devido a redução das perdas em trânsito, por evaporação e por vertimento.

Não houveram ganhos sinérgicos positivos para os Cenários 1 e 2 e para a ROVM, ou seja, parte da água da transposição foi perdida por evaporação, vertimento ou perdas em trânsitos no leito do rio, isso devido a forma de transposição, que utilizou o leito do rio como transporte dessa águas, sendo o Cenário 2 o que obteve menor sinergia hídrica. Logo, essa forma de transposição para a bacia do rio Paraíba não seria eficiente devido ao baixo aproveitamento desses recursos e as grandes perdas provenientes da forma de transposição.

Com relação aos indicadores de sustentabilidade, para a regra de operação controle rígido (ROCR), em todos os cenários sem e com transposição, foi possível observar que o requerimento hídrico para as demandas de abastecimento humano foram atendidos com 100% de garantia. Já os indicadores de sustentabilidade para a regra de operação volume mínimo (ROVM), os cenários simulados sem transposição uma confiabilidade de 71,28% para as demandas de abastecimento do Açude de Porções, 74,26% para as demandas do Açude de Camalaú e 43,60% para as demandas de Boqueirão. Com a transposição, o atendimento às demandas hídricas de abastecimento teve uma confiabilidade de 100%.

Com relação ao requerimento hídrico para irrigação, observou-se que, para os cenários sem transposição para as ROCR e ROVM, os requerimentos hídricos obtiveram baixa confiabilidade. Isso ocorreu por que, para as simulações sem transposição, a primeira prioridade de atendimento é o abastecimento humano, em seguida os volumes meta dos reservatórios e irrigação e, por fim, a vazão regularizável no reservatório de Acauã.

Observou-se que o Cenário 2 com transposição e ROVM foi o único cenário que obteve 100% de confiabilidade para todas as demandas de irrigação, ou seja, não falhou em nenhum mês e não se apresentou vulnerável. Percebe-se, ainda, que os demais cenários com transposição obtiveram pequenas melhoras para a demanda de irrigação do perímetro Vereda Grande e Cordeiro, e melhoras significativas para as demandas do açude de Porções.

Enfim, com a garantia de abastecimento urbano, através do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) e o acréscimo da sinergia hídrica obtida, as águas locais poderão ser utilizadas com maior flexibilidade na agricultura irrigada, gerando empregos diretos no sertão e, também, promovendo a interrupção do êxodo rural, que vem ocorrendo em grande escala devido a ausência de recursos hídricos.

Com relação ao modelo de simulação, observou-se que modelos de rede de fluxo são extremamente rápidos, mas apresentam limitações, como, por exemplo, otimizam apenas sistemas lineares. A função objetivo é pré-definida, não podendo ser adaptada a cada situação, além de sua rigidez em relação à alocação hídrica com as prioridades. Este tipo de modelo matemático, baseado em prioridades rígidas, faz com que haja variações bruscas mês a mês no nível das águas dos reservatórios da rede, ora visando atingir o volume meta, permitindo que os reservatórios permaneçam na sua cota máxima, ora permitindo que os reservatórios liberem água para todos os usos do sistema, fazendo com que as alocações sofram com essas variações.

Como sugestão para continuidade da pesquisa, tem-se: operação do sistema englobando um maior número de reservatórios e adoção de novas técnicas de otimização para operação dos reservatórios que dêem maior representatividade física e permita a inclusão de outras regras de operação que visam melhor viabilizar a operação do sistema.

A metodologia utilizada nessa pesquisa para o estudo da sinergia e sustentabilidade hídrica do sistema, mostraram resultados importantes, os quais poderão subsidiar, o aproveitamento dos recursos hídricos nas bacias receptoras das águas do São Francisco, pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos da Paraíba.

## **Referências Bibliográficas**

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA (2007). Recursos Hídricos - *Monitoramento dos volumes dos açudes*. Acesso em 20/10/2007. Disponível on-line em [http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/volumes\\_acudes/indexVolumesAcude.s.jsp](http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/volumes_acudes/indexVolumesAcude.s.jsp).

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, p.226.

AZEVEDO, L.G.T., LA LAINA PORTO, R., FILHO, K.Z.(2002). Modelos de simulação e de redes de fluxos. In:PORTO, R.L.L. org. *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos* – 2. Ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos hídricos, cap. 4 p. 165-237.

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. (2002). A programação dinâmica aplicada à engenharia de recursos hídricos. In: Porto, R. L.L. org. *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos* – 2. Ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos hídricos, cap. 5 p. 239-303.

BARROS, M., TSAI, F., YANG, S., LOPES, J. E. G., YEH, W., ASCE, H. (2003). *Optimization of large-scale hydropower systems operations*. Journal of Water Resources Planning and Management, vol 129(3), p. 178-188.

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

CELESTE, A. B. (2006). *Determinação e análise de indicadores de desempenho e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do rio Piancó-PB e de suas ponteciais demandas*.

Dissertação de Mestrado, curso de Pós-graduação em engenharia Civil e ambiental, área de concentração: Recursos Hídricos, UFCG, Campina Grande-PB, p. 119.

COELHO, M. A.T. (2004). *O caso do São Francisco: transposição de águas ou de erros?*. Instituto de Estudos Avançados da USP, São Paulo.

CURI, W.F.; CURI, R. C. (2003). ORNAP – Optimal Reservoir Network Analysis Program. XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió. Anais CD-ROM.

FARIAS, J.A.M., JOCA, E.L.L., ARAÚJO, F.F.V., MEDEIROS, P.H.A., MOLINAS (2005), P.A..*Sinergia Hídrica em sistemas integrados de reservatórios: estudos de casos relacionados com a transposição das águas do rio São Francisco*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - João Pessoa - PB.

GOMES, C.; Ministério da Integração Nacional - *Projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional*. palestra do Ministro da Integração Nacional no Clube de Engenharia. Disponível no site <[http://www.clubedeengenharia.org.br/set05\\_ciro\\_gomes.htm](http://www.clubedeengenharia.org.br/set05_ciro_gomes.htm)>, Rio de Janeiro, Outubro 2005.

GUIMARÃES Jr. J. A.; RIGHETTO, A.M.; MOURA, E.M.; MATTOS, A.; MOREIRA, L. F. F.(2006). *Otimização de uso múltiplo da água de açudes no semi-árido brasileiro*. *Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste – Gravatá-PE*.

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

KJELDSEN, T.R. & ROSBJERG, D. (2001). *A framework for assessing the sustainability of a water resources system*. Regional management of water resources (Proceedings of a symposium held during the sixth IAHS. Scientific Assembly at Maastricht. The Netherlands, July, 2001. IAHS Publ. n°.268, 2001.

LABADIE, J.(1995), *Modsim: Technical Manual, River Basin Network Model for Water Rights Planning*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

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.

LABADIE, J. W. (2004). *Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review*. Journal of Water Resources Planning and Management, vol 130(2), p. 93-111.

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). *MODHAC – Modelo hidrológico Auto Calibrável*. (versão DOS 1997). IPH – UFRGS. Porto Alegre.55p.

LANNA, A. E.(1993). *Regularização de vazões em reservatórios e elementos de estatística e probabilidades*. In: TUCCI, Carlos E. M. (org). *Hidrologia: ciência e aplicação*. PortoAlegre: Ed. da Universidade, ABRH, EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4.

LANNA, A.E, (2002). Introdução. In:Porto, R. L.L. org. *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos – 2. Ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos hídricos*, cap. 1 p. 15-41.

LA LAINA PORTO, R. (organizador), 2002. *Técnicas Quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hidricos*. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH.

LOAICIGA, H.; CHURCH, R. L. (1990). *Linear Programs For Nonlinear Hydrologic Estimation*. Water Resources Bulletin, v. 26, n. 4, p. 645-657.

LOUCKS, D. P.(1997). *Quantifying trends in system sustainability*. *Hydrologic Science J.* v. 42, n.4, p.513-530.

RIMA (2004) - *Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente do Projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional*, Brasília, Junho 2004. MI - Ministério da Integração Nacional. Disponível no site < <http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/rima/download.asp>>

MI - *Ministério da Integração* (2007). Disponível no site <http://www.integracao.gov.br/saofrancisco>. Acesso 29 de novembro de 2007.

MI – Ministério da Integração Nacional (2000) – *Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional* - Relatório Síntese de Viabilidade Técnico-econômica e ambiental - Secretaria de Infra-estrutura Hídrica.

MOLINAS, P. A., CARDOSO, E.F., SARMENTO, F.J.(2005). *Aspectos da Operação dos Reservatórios das bacias receptoras de águas da Transposição do rio São Francisco*. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. II Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa.

MOLINAS, P. A., SARMENTO, F.J.(1999). *A Operação dos Reservatórios sujeitos a Transposição de águas: estudo de caso dos reservatórios das bacias receptoras de águas da transposição do rio São Francisco*. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG, Dez. 1999.

O'Laoghaire, D.T.; Himmelblau, D.M. (1974). *Optimal Expansion of a Water Resources System*. New York: Academic Press.

OLIVEIRA, G. M., LEITÃO, M.M.V.B, GALVÃO, C.O., LEITÃO, T.J.V.(2005). *Estimativa da Evaporação e Análise do uso do coeficiente (Kp) do tanque “classe A” nas regiões do cariri e sertão da Paraíba*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 10 n.

OLIVEIRA, J. A. 1995. *Otimização da operação de um sistema de reservatórios para irrigação e abastecimento urbano*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. 113p.

PDRH-PB (2001). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. Relatório Final de Diagnóstico*. João Pessoa: Governo do Estado da Paraíba e Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH.

PERH-PB (2004). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Relatório Parcial da Consolidação de Informações e Regionalização. Resumo Executivo*. João Pessoa: Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH.

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, nº.5.

RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Carlos: EESC / USP.

RIGHETTO, A. M., GUIMARÃES JR., J.A., MATTOS, A. (2000). *Indução de Sinergia hídrica no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, RN*. Anais do V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

ROS, D. A., BARROS, M. (2003). *Otimização da operação de sistemas hidroenergéticos: impactos de diferentes objetivos*. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba.

SAAD, J.C.C. & FRIZZONE, J.A. (1996). *Modelo de programação não linear para dimensionamento e operação de sistemas de irrigação localizada*, XXVI CONBEA – Campina Grande, PB.

SANTANA, A. G. (1998). *Dimensionamento ótimo de um sistema de recursos hídricos de grande porte*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Recursos hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS Porto Alegre, p.137.

SANTOS, V. S. (2007). *Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos*. Dissertação de Mestrado, curso de Pós-graduação em engenharia Civil e ambiental, área de concentração: Recursos Hídricos, UFCG, Campina Grande-PB, p. 143f.

SARMENTO, F. J. (2005a): *Transposição do Rio São Francisco: realidade e obra a construir*. EDICEL, Brasília, 132p.



SARMENTO, F.J.(2005b): *Transposição do Rio São Francisco: Custo da água. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Novembro 2005 / João Pessoa - PB.*

SEMARH (2004) *Levantamento Batimétrico do Açude Epitácio Pessoa - Boqueirão/ PB.* Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH.

SILVA, M.; ROSSETO, M.; GOMES, Ciro. “Água para todos”, *Ministério do Meio Ambiente, do Desenvolvimento Agrário e da Integração Nacional*, o Globo de 7/10/2005. Acesso em 20/11/2007. Disponível no site <http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/opinioes/opinio.asp?id=23002>

SILVEIRA, J.L.; BALESTIERI, P.; OLIVA, V.J. (1991). *Otimização de operação de um sistema hidrelétrico utilizando reservatório equivalente.* In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 9. 1991, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: ABRH. u.z., p. 324-337.

SIMONOVIC, S.P. 1992. *Reservoir systems analysis: closing gap between theory and practice.* Journal of Water Resources Planning and Management, New York, v.118, n. 3, p.262-280.

SMITH, R. (2000) – Cuidados com a transposição. Revista Economia e Mais. Ano IV, nº. 40, Junho/2000, p. 4-8.

TAKEUCHI, K. & KUNDZEWICZ (1998). Sustainable Reservoir Development and management. In: TAKEUCHI, K., HAMLIN, M., KUNDZEWICZ, Z.W., ROSBJERG, D. & SIMONOVIC, S.P..Sustainability and Reservoirs. IAHS – Publication nº 251 (july 1993-july 1998).

VERA, B. (1998) – Projeto São Francisco – A integração das águas do semi-árido. Publicação do Senado Federal, Brasília, p.11-13.

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. Apud CELESTE, A.B. (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*. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, área de concentração: Recursos Hídricos, UFCG, Campina Grande-PB, p. 119.

SUPLICY, E. “A transposição do Rio São Francisco”, Ministério da Integração, *Jornal do Brasil - Rio de Janeiro* 20/03/2007. Acesso Disponível no site <http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/opinioes/opiniaio.asp?id=38916>

USP – Universidade de São Paulo (2002). *Acquanet – Modelo para Alocação de Água em Sistemas Complexos de Recursos Hídricos: Manual do usuário*. LABSID – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. São Paulo-SP.

VIANNA, W.P., Jr.; LANNA, A.E.L.(2002). *Simulação e otimização de um sistema de reservatórios: bacia do rio Curu*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(3), pp 63-83.

WURBS, R. A. (2005). *Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models*. Technical Report n. 282. Texas Water Resources Institute.

WURBS, R.A. (1993). *Reservoir-system simulation and optimization models*. *Journal of Water Resources Planning Management*, New York, vol. 119, N.1 p. 91-107.

YEH, W.W-G. (1985). *Reservoir Management and Operation Models: A state-of-art review*. *Water Resources Research*, Washington. v. 21, n. 12, p.1797-1818.

**Anexos**



**ANEXO 1 – Série fluviométrica média mensal do açude Porções**  
**Fluviometria (m<sup>3</sup>/s) Área de Contribuição 656 km<sup>2</sup>**

VAZÕES MÉDIAS MENS AIS (m <sup>3</sup> /s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Q
1935	0,02	1,69	5,24	11,67	10,57	5,14	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94
1936	0,03	1,36	0,18	0,44	0,95	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
1937	0,01	0,03	0,09	3,42	3,09	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
1938	0,00	0,00	0,18	0,54	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
1939	0,00	0,11	0,48	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,23	0,42	0,03	0,11
1940	0,06	0,23	2,23	4,10	2,24	0,13	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,75
1941	0,00	0,00	6,66	4,38	0,58	0,12	0,01	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,99
1942	0,00	0,03	0,11	0,16	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,08
1943	0,06	0,35	1,03	0,42	0,07	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
1944	0,00	0,00	0,27	0,22	0,02	0,83	0,08	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,12
1945	0,49	0,15	0,40	0,53	5,87	3,38	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,94
1946	0,18	0,00	0,20	0,62	0,78	1,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,19	0,01	0,26
1947	0,27	0,08	1,61	10,48	10,34	5,29	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,01	2,42
1948	0,00	0,00	4,94	5,37	3,31	0,66	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,20
1949	0,00	0,10	0,09	0,28	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	5,84	0,59
1950	0,03	0,03	0,65	3,98	3,67	0,12	0,00	0,01	0,00	0,72	0,00	0,00	0,77
1951	0,00	0,00	0,10	0,09	0,57	1,26	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,17
1952	0,00	0,66	0,67	0,28	1,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,19	0,24
1953	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,05
1954	0,00	0,26	0,37	0,76	0,98	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,22
1955	0,24	2,17	3,84	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,68
1956	0,01	1,40	0,79	0,93	0,22	0,24	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
1957	0,63	0,00	2,90	8,41	5,51	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60
1958	0,00	0,02	0,21	1,76	0,03	0,02	0,03	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,18
1959	0,06	2,24	2,12	0,03	0,02	1,63	0,27	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,54
1960	0,00	0,01	4,85	5,04	0,58	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89
1961	0,70	0,45	0,73	4,85	3,14	0,34	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86
1962	0,00	0,09	1,08	0,16	0,55	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
1963	0,11	0,22	2,43	0,66	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,92	0,36
1964	3,32	2,96	9,65	10,16	8,21	3,83	0,72	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	3,24
1965	1,14	0,20	0,55	8,09	6,86	5,42	3,22	0,00	0,00	0,19	0,00	0,01	2,14
1966	0,01	0,73	0,00	0,52	0,21	0,22	0,00	0,36	0,00	0,00	0,01	0,00	0,17
1967	0,00	0,62	5,55	12,06	14,83	9,45	3,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,08	3,81
1968	0,12	0,37	4,05	4,24	5,20	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35
1969	0,20	0,14	3,29	6,50	2,22	0,11	0,97	0,09	0,00	0,00	0,00	0,02	1,13
1970	0,39	0,24	1,93	0,34	0,68	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
1971	0,03	0,09	0,86	3,49	4,54	1,80	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,90
1972	0,02	0,34	1,31	0,07	0,00	0,00	0,00	0,78	0,32	0,00	0,00	0,19	0,25
1973	0,01	0,26	1,82	1,63	0,62	0,01	0,03	0,00	0,05	0,11	0,01	0,03	0,38
1974	1,37	5,46	9,46	12,22	10,60	7,81	2,66	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	4,14
1975	0,00	0,11	2,90	0,94	2,53	0,13	1,33	0,45	0,35	0,00	0,00	0,06	0,73
1976	0,00	3,03	1,49	3,00	0,31	0,05	0,00	0,00	0,00	0,42	0,03	0,03	0,70
1977	0,14	0,29	0,46	1,04	3,05	0,50	0,15	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
1978	0,00	0,48	3,18	2,40	0,64	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
1979	0,07	0,68	0,71	0,48	1,56	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
1980	0,00	0,32	1,59	0,02	0,00	0,54	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,21
1981	0,18	0,25	3,71	9,22	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	1,35
1982	0,00	0,03	0,00	0,56	2,27	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,24
1983	0,00	1,18	0,24	0,08	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,13
1984	0,18	0,07	0,94	9,47	13,86	13,12	8,11	1,86	0,00	0,30	0,00	0,00	3,99
1985	0,23	4,81	9,01	14,82	13,66	9,07	3,92	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	4,64
1986	0,00	1,80	5,68	7,40	4,92	0,79	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72
1987	0,02	0,52	1,00	1,42	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
1988	0,00	0,22	2,73	2,94	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,60
1989	0,25	0,00	0,53	6,97	6,00	3,04	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	1,49
1990	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Parâmetros Estatísticos													
Med	0,19	0,66	2,09	3,42	2,89	1,46	0,50	0,07	0,02	0,05	0,04	0,15	0,96
S	0,50	1,14	2,46	3,99	3,91	2,78	1,34	0,28	0,06	0,14	0,12	0,79	1,14
CV	2,65	1,72	1,18	1,17	1,36	1,91	2,71	3,73	3,57	3,01	3,27	5,38	1,18

Med = média S = desvio padrão CV = coeficiente de variação

**ANEXO 2 – Série fluviométrica média mensal do açude Camalaú**  
**Fluviometria (m<sup>3</sup>/s) Área de Contribuição 397,54 km<sup>2</sup>**

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m <sup>3</sup> /s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Q
1935	0,08	0,48	1,32	3,23	1,60	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
1936	0,13	0,48	0,03	0,01	0,04	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
1937	0,00	0,01	0,05	2,49	1,52	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
1938	0,00	0,02	0,01	0,57	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
1939	0,00	0,05	0,41	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,13	0,12	0,02	0,07
1940	0,06	0,24	1,40	1,54	1,13	0,20	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
1941	0,00	0,00	1,83	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
1942	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,02
1943	0,02	0,13	0,13	0,19	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
1944	0,04	0,06	0,14	0,12	0,00	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
1945	0,04	0,03	0,02	0,16	3,07	1,50	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
1946	0,00	0,00	0,04	0,23	0,39	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,08
1947	0,02	0,00	1,46	3,68	2,17	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,12	0,65
1948	0,00	0,09	2,26	1,84	0,63	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
1949	0,00	0,25	0,16	0,02	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,42	0,19
1950	0,00	0,00	0,09	1,21	1,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,20
1951	0,00	0,00	0,00	0,04	0,18	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03
1952	0,00	0,02	0,25	0,01	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03
1953	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
1954	0,00	0,29	0,11	0,23	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07
1955	0,14	0,17	1,32	0,17	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16
1956	0,00	0,15	0,11	0,36	0,02	0,12	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1957	0,05	0,00	2,18	5,75	3,08	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
1958	0,00	0,01	0,23	1,13	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
1959	0,02	0,72	1,72	0,01	0,00	0,06	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,21
1960	0,00	0,01	3,45	5,40	2,46	0,26	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97
1961	0,17	0,09	0,57	2,90	1,33	0,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
1962	0,02	0,03	0,34	0,09	0,28	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1963	0,01	0,39	1,55	1,28	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,31
1964	0,39	0,22	1,02	0,26	0,60	0,12	0,15	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,23
1965	0,52	0,08	0,29	4,26	4,13	2,13	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,04
1966	0,00	1,93	0,40	0,38	0,02	0,24	0,02	0,07	0,00	0,00	0,31	1,19	0,38
1967	0,00	0,19	0,44	1,97	5,41	2,86	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,94
1968	0,05	0,25	3,37	3,83	5,60	4,94	2,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68
1969	0,51	0,63	4,75	6,11	3,01	0,67	0,61	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	1,37
1970	0,74	0,56	0,54	0,07	0,32	0,02	0,10	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,20
1971	0,01	0,00	0,13	0,93	2,07	1,40	0,01	0,04	0,00	0,11	0,00	0,00	0,39
1972	0,00	0,55	0,33	0,03	0,10	0,22	0,06	0,25	0,31	0,00	0,00	0,65	0,21
1973	0,23	0,03	0,31	1,73	4,12	1,79	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69
1974	2,39	6,08	5,02	7,17	6,97	4,45	2,06	0,03	0,00	0,00	0,26	0,00	2,87
1975	0,01	0,02	0,49	0,97	4,42	2,25	2,71	1,33	0,01	0,00	0,00	0,26	1,04
1976	0,03	0,19	0,33	3,34	0,54	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,38
1977	0,27	0,24	0,87	1,19	5,73	3,44	1,92	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16
1978	0,00	0,09	2,06	2,48	2,23	0,35	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,63
1979	0,04	0,99	1,48	0,80	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
1980	0,00	0,27	1,31	0,44	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,17
1981	0,00	0,00	2,12	5,44	1,71	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,78
1982	0,00	0,09	0,00	0,22	2,07	0,19	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,21
1983	0,02	1,22	0,04	0,01	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
1984	0,00	0,05	0,07	4,91	6,49	4,86	2,07	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55
1985	0,15	3,13	5,64	32,97	13,11	7,62	5,00	1,37	0,15	0,00	0,00	0,00	5,76
1986	0,00	1,45	2,64	2,82	1,54	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
1987	0,00	0,61	0,17	0,47	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
1988	0,01	0,04	0,72	0,26	0,23	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,11
1989	0,00	0,01	0,48	3,87	2,94	0,81	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,30	0,71
1990	0,01	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,08	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Parâmetro Estatísticos													
Med	0,11	0,41	1,00	2,14	1,68	0,76	0,34	0,07	0,01	0,01	0,03	0,08	0,55
S	0,34	0,94	1,33	4,61	2,45	1,55	0,89	0,25	0,05	0,02	0,08	0,26	0,88
CV	3,10	2,33	1,32	2,16	1,45	2,05	2,61	3,72	4,74	3,61	2,92	3,20	1,60

Med = média S = desvio padrão CV = coeficiente de variação

**ANEXO 3 – Série fluviométrica média mensal do açude Boqueirão**  
**Fluviometria (m³/s) Área de Contribuição 6.586,64 km²**

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Q
1935	0,76	4,85	17,03	61,57	41,40	7,47	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11
1936	1,35	9,45	0,23	0,00	0,08	8,61	14,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82
1937	0,00	0,05	0,18	31,94	22,51	3,53	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,85
1938	0,00	0,00	0,10	6,38	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
1939	0,00	0,00	4,47	0,20	0,03	11,38	1,40	0,00	0,00	4,55	0,58	0,00	1,88
1940	0,41	1,86	7,67	5,29	25,89	17,08	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,88
1941	0,00	0,05	37,35	1,96	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,29
1942	0,00	0,03	0,03	0,48	0,38	0,61	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,17
1943	0,05	2,03	0,25	0,15	0,03	0,15	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
1944	0,28	0,03	1,14	14,05	0,15	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
1945	0,03	2,54	0,00	0,99	34,13	18,88	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	4,75
1946	0,10	0,13	0,79	0,66	0,10	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
1947	0,03	0,03	11,31	47,29	28,33	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	7,27
1948	0,00	0,03	26,45	9,66	3,48	0,05	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,37
1949	0,00	0,00	0,00	1,22	2,92	2,62	0,03	0,00	0,00	0,00	1,73	1,07	0,80
1950	0,03	0,00	0,33	4,29	1,93	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
1951	0,00	0,64	0,00	2,08	0,86	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
1952	0,00	0,00	5,13	0,33	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,47
1953	0,00	0,03	0,03	0,43	0,03	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68	2,59	0,47
1954	0,00	0,18	0,03	0,33	0,91	2,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
1955	1,52	1,27	1,65	25,82	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53
1956	0,00	0,61	0,53	1,07	0,25	3,89	8,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22
1957	0,05	0,00	20,68	25,79	0,86	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,95
1958	0,00	0,58	0,20	0,15	3,43	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
1959	0,00	0,36	0,97	0,03	1,02	1,35	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
1960	0,00	0,33	42,59	63,27	17,66	0,05	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,37
1961	2,64	0,53	3,84	25,77	0,58	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80
1962	0,08	0,00	0,30	0,71	0,48	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
1963	0,00	0,03	11,69	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,53	1,32
1964	4,35	2,34	0,99	0,91	2,36	2,36	8,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,83
1965	0,25	0,00	1,04	36,57	41,90	16,24	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	8,21
1966	0,00	4,57	0,00	15,07	2,39	2,08	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03
1967	0,00	0,66	2,80	21,83	18,04	0,13	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	3,65
1968	0,36	0,00	13,60	6,43	25,23	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86
1969	1,65	0,00	4,52	8,64	0,10	1,19	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52
1970	2,06	0,00	0,56	0,97	1,47	0,03	3,25	0,36	0,00	0,03	0,00	0,00	0,73
1971	0,00	0,00	0,51	29,25	22,18	3,30	0,08	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	4,62
1972	0,00	0,03	2,95	0,38	0,79	0,13	0,15	1,32	0,23	0,00	0,00	3,05	0,75
1973	0,00	0,08	0,81	10,09	21,14	0,08	0,20	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	2,72
1974	5,16	2,62	19,97	40,18	51,43	23,86	3,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	12,25
1975	0,00	0,66	12,58	3,66	13,34	0,03	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	3,68	3,28
1976	0,00	3,02	0,43	8,69	0,99	0,03	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00	1,20
1977	1,45	0,00	0,10	31,05	76,67	44,01	35,96	5,08	0,05	0,00	0,00	0,00	16,20
1978	0,00	2,54	39,90	11,26	12,93	1,12	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,68
1979	0,00	0,23	0,03	1,30	4,88	0,03	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
1980	0,05	2,62	1,19	0,03	0,00	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
1981	0,94	0,43	38,32	77,89	17,41	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	11,27
1982	0,00	0,00	0,00	3,20	10,42	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15
1983	0,00	4,57	0,43	0,23	0,15	0,08	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
1984	0,00	0,00	4,42	30,09	15,68	1,75	1,04	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	4,44
1985	0,15	31,03	62,51	118,26	120,53	64,04	24,98	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	35,15
1986	0,23	8,49	37,51	26,58	3,25	0,08	1,19	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	6,46
1987	0,00	0,00	8,74	2,72	0,00	0,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97
1988	0,00	1,60	10,39	5,49	1,93	0,08	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68
1989	0,00	0,00	0,74	40,81	28,03	0,43	4,47	0,00	0,03	0,00	0,00	3,25	6,48
1990	0,51	0,76	0,08	0,03	0,08	0,28	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
Parâmetro Estatísticos													
Med	0,44	1,64	8,22	15,43	12,20	4,38	2,23	0,14	0,01	0,11	0,07	0,33	3,77
S	1,02	4,46	13,88	23,12	21,50	11,10	6,14	0,70	0,03	0,63	0,33	0,93	5,55
CV	2,33	2,72	1,69	1,5	1,76	2,54	2,76	4,94	5,75	5,82	4,41	2,86	1,47

Med = média S = desvio padrão CV = coeficiente de variação

**ANEXO 4 – Série fluviométrica média mensal do açude Acauã**  
**Fluviometria (m³/s) Área de Contribuição 3.672,74 km²**

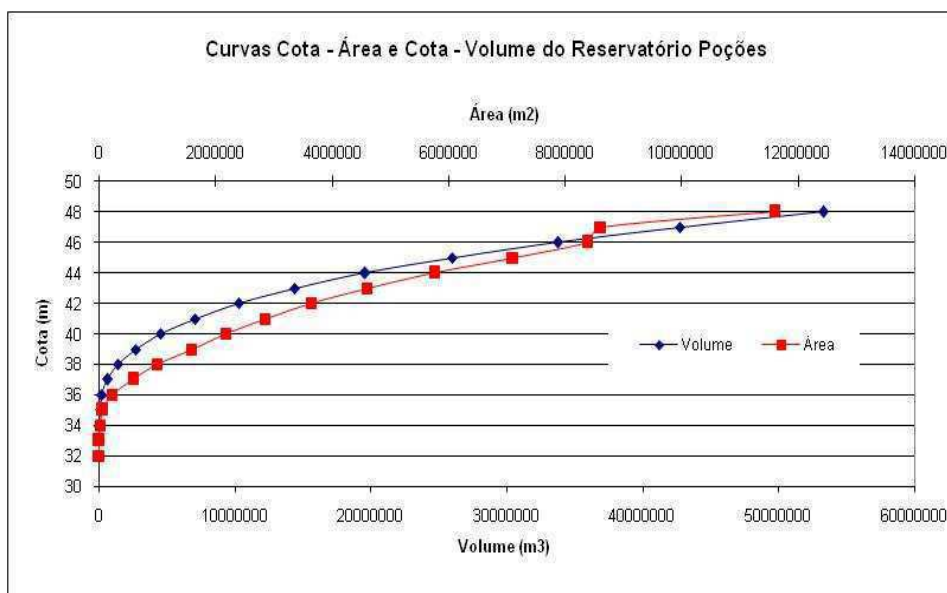
VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Q
1935	0,00	0,44	1,91	11,29	8,10	7,59	18,32	5,78	0,00	0,00	0,00	0,00	4,45
1936	0,00	10,49	2,38	0,00	0,69	12,99	44,22	18,15	0,14	0,00	0,00	0,00	7,42
1937	0,00	0,06	0,00	6,45	0,89	8,97	11,87	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47
1938	0,00	0,09	0,09	1,32	0,62	0,75	0,00	0,21	0,03	0,00	0,00	0,00	0,26
1939	0,00	0,00	1,64	0,48	0,13	10,16	3,49	5,10	0,00	1,12	0,37	0,00	1,87
1940	0,01	0,86	2,52	1,69	14,75	36,10	30,96	16,76	0,61	0,00	0,00	0,00	8,69
1941	0,00	0,04	23,52	7,34	5,26	0,61	0,94	0,35	0,18	0,00	0,00	0,00	3,19
1942	0,00	0,00	0,06	0,85	9,71	10,84	2,82	1,52	0,00	0,00	0,00	0,03	2,15
1943	0,00	2,52	0,30	1,45	0,60	1,11	14,48	5,29	0,17	0,00	0,00	0,03	2,16
1944	0,17	0,00	0,61	9,07	2,64	1,16	3,39	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55
1945	0,00	0,30	0,00	0,00	5,85	22,56	24,87	9,69	0,00	0,00	0,00	0,00	5,27
1946	0,44	0,00	0,35	0,31	0,95	2,82	0,67	0,50	0,00	0,00	0,00	0,03	0,51
1947	0,07	0,06	0,95	18,96	25,56	13,96	6,66	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	5,52
1948	0,01	0,00	2,52	0,07	5,57	2,72	17,87	9,73	0,06	0,00	0,03	0,00	3,22
1949	0,01	0,18	0,00	0,47	3,16	10,67	3,44	0,23	0,00	0,00	0,62	0,96	1,65
1950	0,00	0,00	0,91	5,27	11,24	3,78	0,51	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81
1951	0,00	0,01	0,03	0,33	0,45	24,84	32,99	9,28	0,00	0,00	0,00	0,03	5,66
1952	0,00	0,00	0,26	0,00	0,04	0,43	0,67	0,01	0,00	0,01	0,00	1,52	0,24
1953	0,00	0,00	0,10	1,05	0,31	9,78	11,66	2,38	0,00	0,00	0,13	0,03	2,12
1954	0,00	0,00	0,00	1,05	6,89	14,13	3,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10
1955	0,00	0,00	2,37	1,83	1,52	0,07	0,10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
1956	0,00	0,10	0,00	12,03	0,92	2,81	15,59	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	2,81
1957	0,01	0,00	2,15	2,49	0,38	0,04	0,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
1958	0,00	0,00	0,00	0,10	0,65	1,54	2,48	0,27	0,04	0,00	0,00	0,00	0,42
1959	0,00	0,20	0,03	0,41	0,72	3,34	17,00	8,47	0,01	0,00	0,00	0,00	2,52
1960	0,00	0,00	3,87	4,08	0,10	0,38	3,87	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
1961	4,17	1,29	1,57	3,20	0,58	1,26	1,90	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17
1962	0,00	0,00	0,37	0,03	2,95	4,28	4,22	0,00	0,13	0,00	0,00	0,01	1,00
1963	0,03	0,00	0,78	0,65	0,14	0,33	1,63	0,00	0,00	0,00	0,10	1,96	0,47
1964	9,92	5,70	2,55	2,10	0,58	5,10	22,83	10,84	0,14	0,00	0,00	0,00	4,98
1965	0,06	0,00	0,00	2,30	4,22	4,53	6,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	1,44
1966	0,01	0,94	0,00	3,27	0,26	9,49	20,94	19,21	0,74	0,00	0,03	0,00	4,57
1967	0,00	0,01	0,11	8,13	0,85	2,66	2,25	0,27	0,00	0,00	0,00	0,09	1,20
1968	0,16	0,01	0,72	0,60	8,91	0,86	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97
1969	0,21	0,00	2,83	4,68	2,62	7,64	25,85	17,77	0,24	0,00	0,00	0,00	5,15
1970	0,10	0,00	0,51	1,03	2,38	3,05	4,82	13,59	0,28	0,00	0,00	0,00	2,15
1971	0,00	0,00	0,04	7,98	7,34	1,81	0,89	2,05	0,01	0,00	0,00	0,00	1,68
1972	0,00	0,00	0,64	0,50	4,15	2,27	0,23	2,45	2,34	0,00	0,00	0,03	1,05
1973	0,03	0,04	0,13	2,58	9,24	0,98	1,50	0,11	0,00	0,03	0,00	0,01	1,22
1974	0,95	0,17	3,88	11,82	18,11	10,00	13,91	3,07	0,21	0,00	0,00	0,00	5,18
1975	0,00	0,00	0,82	0,81	1,69	1,66	20,84	14,89	0,24	0,00	0,00	0,23	3,43
1976	0,00	0,03	0,07	2,56	2,42	4,99	1,64	0,82	0,00	1,30	0,00	0,01	1,15
1977	0,17	0,00	0,01	4,62	22,64	11,77	27,30	18,34	1,08	0,00	0,00	0,00	7,16
1978	0,00	0,30	10,30	4,42	5,20	0,75	1,23	3,26	0,06	0,01	0,00	0,00	2,13
1979	0,01	0,00	0,27	0,06	1,29	1,62	3,12	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,57
1980	0,00	0,13	0,88	0,48	0,57	4,56	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,55
1981	0,06	0,06	17,78	33,10	4,55	0,06	0,28	0,00	0,00	0,00	0,01	0,31	4,68
1982	0,00	0,20	0,01	0,82	2,73	1,77	1,96	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
1983	0,00	0,04	0,01	0,14	1,15	0,69	0,44	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
1984	0,04	0,00	1,70	9,72	10,71	12,68	9,38	3,84	1,71	0,00	0,00	0,00	4,15
1985	0,00	8,28	15,95	43,61	48,42	27,05	23,22	15,83	0,28	0,00	0,00	0,00	15,22
1986	0,06	1,02	1,86	3,88	0,20	2,72	4,49	3,17	0,01	0,00	0,00	0,00	1,45
1987	0,00	0,00	0,41	4,01	0,00	0,94	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
1988	0,03	0,37	6,83	8,28	7,61	0,47	4,97	2,28	0,03	0,00	0,00	0,00	2,57
1989	0,00	0,00	0,28	14,82	17,58	10,64	17,67	7,01	0,51	0,00	0,00	0,09	5,72
1990	0,00	0,01	0,03	0,68	1,29	5,19	1,47	0,55	0,00	0,01	0,00	0,00	0,77
Parâmetro Estatísticos													
Med	0,30	0,61	2,11	4,81	5,32	6,18	8,92	4,34	0,17	0,04	0,02	0,10	2,74
S	1,43	1,91	4,52	7,83	8,25	7,45	10,50	5,92	0,42	0,23	0,10	0,35	2,67
CV	4,78	3,16	2,15	1,63	1,55	1,21	1,18	1,36	2,41	5,08	4,19	3,60	0,97

Med = média S = desvio padrão CV = coeficiente de variação

## ANEXO 5 – Relação Cota x Área x Volume do reservatório de Porções

**Tabela 8.1** – Relação Cota x Área x Volume do Açude de Porções

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
32,00	0,00	0
33,00	3.750	1.875
34,00	11.000	9.250
35,00	59.500	44.500
36,00	219.000	183.750
37,00	577.750	582.125
38,00	992.000	1.367.000
39,00	1.579.500	2.652.750
40,00	2.167.250	4.526.125
41,00	2.838.750	7.029.125
42,00	3.640.250	10.268.625
43,00	4.596.250	14.386.875
44,00	5.756.000	19.563.000
45,00	7.107.000	25.994.500
46,00	8.381.250	33.728.625
47,00	8.615.250	42.716.875
48,00	11.603.000	53.326.000



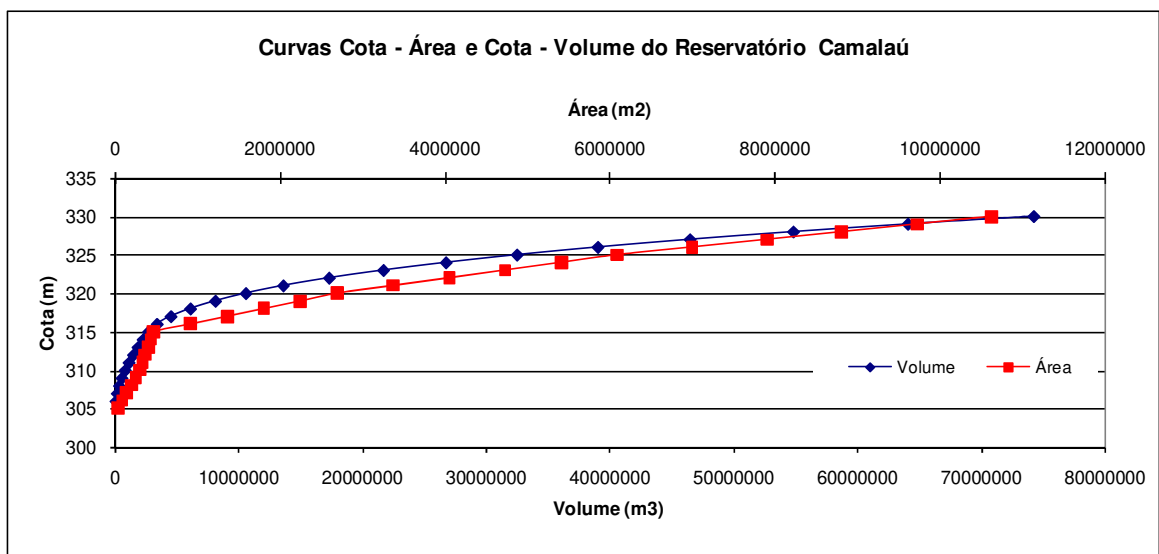
Fonte: AESA



## ANEXO 6 – Relação Cota x Área x Volume do reservatório de Camalaú

**Tabela 9.1 – Relação Cota x Área x Volume do Açude de Camalaú**

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
305,00	26.000	
306,00	79.680	52.840
307,00	133.360	159.360
308,00	187.040	319.560
309,00	240.720	533.440
310,00	294.400	801.000
311,00	327.840	1.112.120
312,00	361.280	1.456.680
313,00	394.720	1.834.680
314,00	428.160	2.246.120
315,00	461.600	2.691.000
316,00	906.400	3.375.000
317,00	1.351.200	4.503.800
318,00	1.796.000	6.077.400
319,00	2.240.800	8.095.800
320,00	2.685.600	10.559.000
321,00	3.363.920	13.583.760
322,00	4.042.240	17.286.840
323,00	4.720.560	21.668.240
324,00	5.398.880	26.727.960
325,00	6.077.200	32.466.000
326,00	6.985.760	38.997.480
327,00	7.894.320	46.437.520
328,00	8.802.880	54.786.120
329,00	9.711.440	64.043.280
330,00	10.620.000	74.209.000



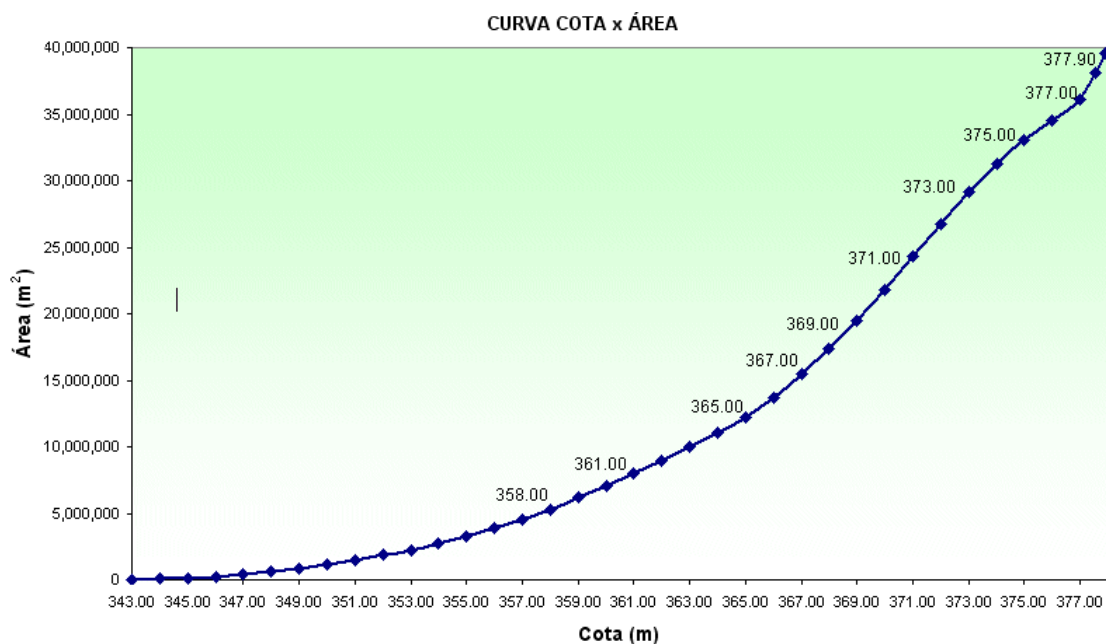
Fonte: AESA

## ANEXO 7 – Relação Cota x Área x Volume do reservatório de Epitácio Pessoa (Boqueirão)

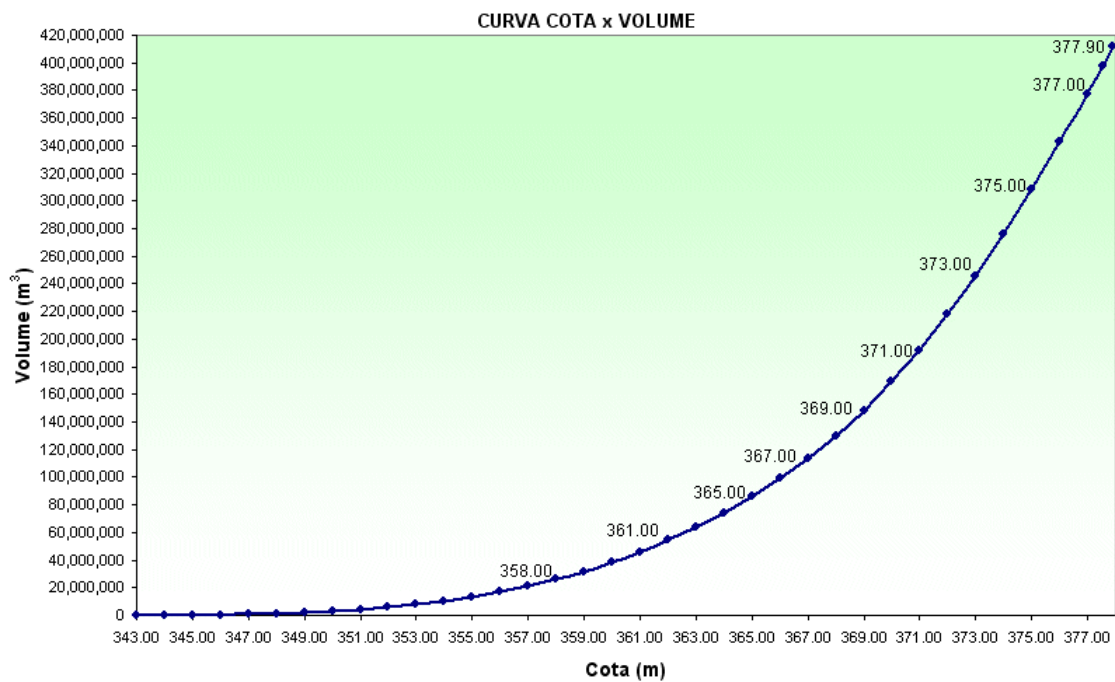
**Tabela 10.1** – Relação Cota x Área x Volume do Açude Epitácio Pessoa

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
344	70.593	69.800	362	8.999.597	54.453.579
345	142.867	174.286	363	10.013.408	63.965.416
346	257.180	366.771	364	11.031.533	74.490.376
347	421.869	707.956	365	12.260.463	86.139.409
348	631.536	1.230.617	366	13.693.060	99.074.597
349	873.903	1.981.542	367	15.486.319	113.650.769
350	1.158.564	2.990.176	368	17.365.964	130.099.018
351	1.506.467	4.314.820	369	19.443.185	148.504.719
352	1.866.251	5.996.469	370	21.743.159	169.122.415
353	2.261.179	8.058.687	371	24.290.550	192.184.935
354	2.697.741	10.529.191	372	26.752.308	217.765.387
355	3.217.443	13.477.904	373	29.120.116	245.796.027
356	3.859.121	17.006.273	374	31.256.425	276.130.869
357	4.556.783	21.217.917	375	33.046.998	308.486.064
358	5.260.937	26.112.154	376	34.539.523	342.495.505
359	6.158.316	31.819.531	377	36.142.787	377.846.134
360	7.030.425	38.416.664	377,55	38.135.841	397.990.704
361	8.029.009	45.934.680	377,9	39.623.321	411.686.287

Fonte: SEMARH 2004a – Levantamento Batimétrico do Açude Epitácio Pessoa-PB



**Figura 10.1** – Gráfico da Curva Cota x Área do Açude Epitácio Pessoa

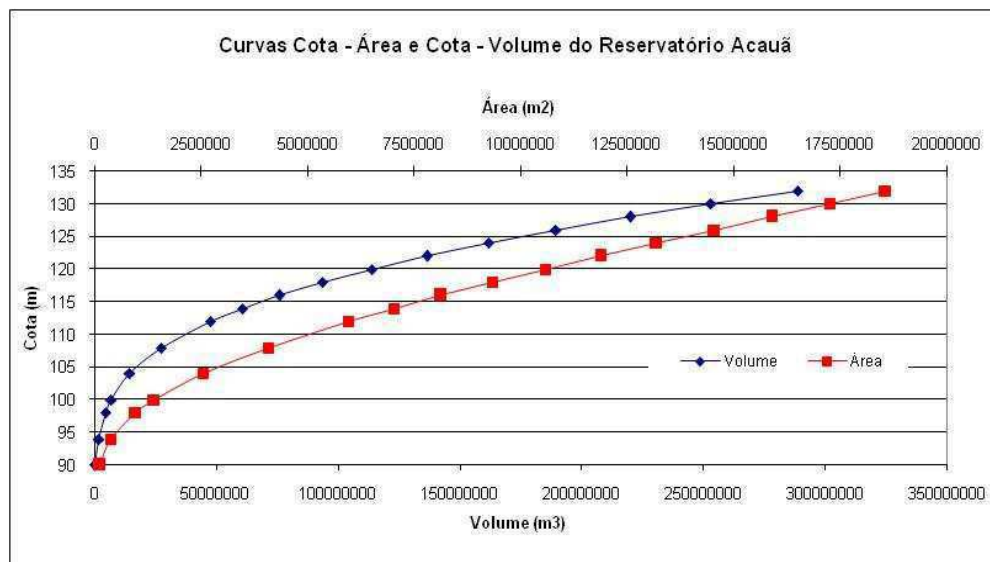


**Figura 10.2** – Gráfico da Curva Cota x Volume do Açude Epitácio Pessoa

## ANEXO 8 – Relação Cota x Área x Volume do reservatório de Acauã

**Tabela 11.1 – Relação Cota x Área x Volume do Açude Acauã**

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
90,00	140.000	0,00
94,00	380.000	2.000.000
98,00	980.000	4.800.000
100,00	1.410.000	7.000.000
104,00	2.560.000	14.500.000
108,00	4.090.000	27.500.000
112,00	5.960.000	47.600.000
114,00	7.020.000	60.800.000
116,00	8.140.000	76.100.000
118,00	9.340.000	93.800.000
120,00	10.590.000	114.000.000
122,00	11.880.000	136.600.000
124,00	13.200.000	161.800.000
126,00	14.550.000	189.500.000
128,00	15.900.000	220.100.000
130,00	17.250.000	253.100.000
132,00	18.570.000	288.800.000



Fonte: AESA