

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

**EFEITOS DO TURISMO NA DEMANDA D'ÁGUA DA BACIA DO  
RIO GRAMAME – ESTUDO DE CASO**

Francisco Fonseca

Campina Grande – PB  
Maio de 2008

Francisco Fonseca

**EFEITOS DO TURISMO NA DEMANDA D'ÁGUA DA BACIA DO  
RIO GRAMAME – ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na Área de Engenharia de Recursos Hídricos, na para obtenção do Grau de Mestre.

**Área de Concentração:** Recursos Hídricos

**Orientador:**

Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi

**Orientadora:**

Prof.(a) Dra. Rosires Catão Curi

Campina Grande – PB  
Maio de 2008

F676e

Fonseca, Francisco

Efeitos do turismo na demanda d'agua da bacia do rio Gramame : estudo de caso / Francisco Fonseca. - Campina Grande, 2008.

143 f. : il.

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

1. Bacia Hidrografica - 2. Recursos Hidricos - 3. Dissertacao I. Curi, Wilson Fadlo, Dr. II. Curi, Rosires Catao, Dra. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Titulo

CDU 556.51(043)

Francisco Fonseca

**EFEITOS DO TURISMO NA DEMANDA D'ÁGUA DA BACIA DO RIO  
GRAMAME – ESTUDO DE CASO**

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_



Dr. Wilson Fadlo Curi (DF/UFCG)  
Orientador



Dra. Rosires Catão Curi (UAEC/UFCG)  
Orientadora



Dr. Tarciso Cabral da Silva (UFPB)  
Examinador Externo

Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues (UFCG)  
Examinador Interno

Campina Grande – PB  
Março de 2008

## DEDICATÓRIA

A minha Mãe Djanira, que sempre esteve ao meu lado, por toda sua dedicação durante toda a minha trajetória de vida. Ao meu pai Dehon. A minhas queridas e amadas Irmãs Ana Olívia e Ana Thereza, ao meu sobrinho “traquino” João Erle e a minha Amada noiva Niedja Maria.

## AGRADECIMENTO

Agradeço ao Grande Arquiteto do Universo, pelas muitas bênçãos que tenho recebido em todos esses anos de minha existência. E que esse trabalho sirva para glorificar o Nosso Pai que está nos Céus, e que tudo seja feito em nome de Deus e sirva aos seus Domínios.

A concretização deste trabalho teve dois grandes pilares, um de Sabedoria e outro de Beleza. A Coluna da Sabedoria foi erguida pelo Professor MSc. Eng. **José Silvino**, que com sua ampla visão de engenheiro, um dos melhores que eu conheço, fez forte recomendação para que eu buscasse mais conhecimento com um curso de mestrado, apesar da minha inicial reserva e negação, vejo, hoje, que realmente ele estava certo. A Coluna da Beleza, pertence a Professora **Antonieta Alves de Sousa**, pioneira no ensino superior de Saúde Pública na UEPB; Uma mulher que me acolheu em seu lar, e me deu um tratamento que poucas vezes recebi de parentes próximos, bem próximos. Dona Antonieta, muitíssimo obrigado!

Ao amigo **Jack Sieber**, da *Stockholm Enviromental Institute*, que me concedeu a licença de uso integral do modelo de simulação WEAP.

Aos funcionários da **CAGEPA**, em especial ao Eng. Joaquim Antônio Marques Neto, aos Técnicos Ismênia Maria Ramalho Ribeiro, Maria Norma de Sousa Alves e Derivaldo de Lima, todos do setor de Planejamento e Gestão. Ao Eng. Abel, Eng. Efigênio da Costa Vilar, MSc. Eng. Omar Barbosa Jr., Téc. José Carlos.

Aos funcionários da **AESA**, especialmente a: MSc. Eng. Laudízio Diniz, MSc. Eng(a) Márcia, Msc. Eng. Alcidney Celeste.

Aos Professores do mestrado em Recursos Hídricos: PhD. **Shirinivasan**, um manancial de profundo conhecimento; PhD. **Eduardo** Enéas, hidrólogo que nos ensinou e mostrou o que realmente é a hidrologia; Dr. Hans **Shuster**, a persistência; PhD **Márcia** Rios, que nos deu novos paradigmas, PhD. **Carlos Galvão**, entusiasta com “caminhos virtuais”, com acesso ao mundo da hidrologia; Dra. **Annemarie**, dinamismo e muito conhecimento; Meu reconhecimento especial fica com os Professores, PhD. **Rosires Curi**, serena nos momentos apropriados; e para o PhD. **Wilson Curi**, admirável em sua sabedoria, com uma visão ampla que busca integrar o conhecimento científico a realidade fora da universidade, uma referencia como professor e como cidadão.

Aos funcionários da UFCG a quem tanto dei trabalho: a mulher mais perfumada da instituição, **Josete**, secretária da coordenação do curso; **Aurezinha**, bibliotecária do laboratório; **Vera**, auxiliar de serviços.

Aos Técnicos do Laboratório de Hidráulica, **Ismael, Haroldo, Raul, Valdomiro, Ronaldo e Lindimar**.

A minha querida turma de Mestrado em Engenharia Hidráulica: **Dayane** Carvalho da Costa; **João Virgílio; Katiana** de Araújo Lima; **Laércio** Leal dos Santos; Maria **Fernanda** Paiva de Lima; Maria **Isabel** Mota Carneiro; **Roberta** Lima; **Suzana** Cristina; **Talita** Gabrielle Aragão; e **Welson** Oliveira: Os quais tive a **Honra** de conhecer, e de compartilhar momentos de aprendizado, dias de muitas alegrias, breves momentos de aflições e conflitos, e sonhos de um futuro melhor para todos nós.

A **CAPES** que subsidiou meus estudos, e graças a ela tudo isso foi possível.

Por fim, agradeço a **Você** que esta lendo esta minha dissertação. Todo o meu empenho no desenvolvimento desse trabalho, teve o sentido único de chegar ao seu conhecimento e ajudá-lo em suas novas descobertas e pesquisas, que não devem nunca parar de evoluir e explorar novas fronteiras.

FONSECA, Francisco. Efeitos do turismo na demanda d'água da bacia do rio Gramame: Estudo de caso 2008. 143p; Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

## RESUMO

No Estado da Paraíba, o circuito de sol e mar é o principal atrativo de turistas para a região litorânea, principalmente nos meses de verão. Atualmente, a bacia hidrográfica do rio Gramame é a principal fonte de recursos hídricos para atendimento das demandas da Grande João Pessoa. Por estar inserida no Nordeste brasileiro, esta bacia está sujeita aos regimes hidrológicos com alguns períodos de escassez, quando há déficit de chuvas. Nesse trabalho procurou-se estudar os efeitos do crescente fluxo turístico na demanda de água dos reservatórios que compõem o sistema de abastecimento da Grande João Pessoa, com análise de três cenários de desenvolvimento do turismo em uma única série, de vinte anos, com previsão hidrológica variando de muito seco a muito chuvoso. O modelo utilizado para a análise deste estudo foi o WEAP, um programa de simulação que se baseia no balanço hídrico de um sistema constituído por mananciais e os usos da água nos locais de demanda. O comportamento volumétrico dos reservatórios foi analisado por duas perspectivas: uma com a permanência do sistema nas condições atuais, e outra com o aumento da oferta hídrica. Nas duas situações o sistema é avaliado através dos indicadores de desempenho do sistema, sendo eles: confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e índice de sustentabilidade global. Os resultados mostram que o reservatório Gramame-Mamuaba apresenta-se no limite do seu aproveitamento hídrico total nos cenários propostos. As simulações realizadas mostram, ainda, que o modelo WEAP é adequado para a utilização na gestão dos recursos hídricos e auxilia na tomada de decisão.

FONSECA, Francisco. Effects of tourism in water demand in basin of river Gramame: Case study 2008. 143p; Dissertation of Master's Degree in Civil Engineer and Environment – Federal University of Campina Grande, Campina Grande, 2008.

#### ABSTRACT

The sun and sea circuit of offshore Paraíba state is the main tourist attraction, mainly during the summer time, nowadays the Gramame river is the main Grand João Pessoa water supply resource. Its river basin is subject to the Brazilian northeastern hydrological regimen, having times of water scarcity when there is rainwater deficit. This work is concerned with the study of the increasing tourism flow on the Grand João Pessoa water demand, through three scenarios rates for a twenty year data series varying from very dry to very wet hydrological forecast, and its impact on the reservoirs that support the system. The WEAP simulation program, which is based on water balance of system having water sources and water demands, was used. The reservoirs volume behaviors were analyzed under two perspectives: one with the water sources as is nowadays and another with an increase in the system water availability. The reliability, resilience, vulnerability and sustainability indexes were determined for both situations. The results have shown that the Gramame-Mamuaba reservoirs are in their water supply limit for all simulated scenarios. Moreover, the simulation WEAP model performed well as a tool for water resources management.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame .....	37
Figura 3.2 – Hidrografia da Bacia do rio Gramame .....	48
Figura 4.1 – Fluxo global estimado de turistas em João Pessoa.....	52
Figura 4.2 – Percentual dos meios de transporte utilizados pelos turistas para chegar a Paraíba.....	53
Figura 4.3 – Evolução do fluxo de passageiros no terminal de desembarque no aeroporto Castro Pinto .....	54
Figura 4.4 – Evolução do fluxo de passageiros no terminal de desembarque na rodoviária .....	54
Figura 4.5 – Evolução da quantidade dos meios de hospedagem no litoral paraibano.....	55
Figura 4.6– Evolução da quantidade de leitos disponíveis .....	56
Figura 4.7– Tempo de Permanência Média nas Unidades Hoteleiras .....	56
Figura 5.1 – Representação das zonas de operação do reservatório no WEAP.....	62
Figura 5.2 – Fluxograma do modelo de simulação WEAP .....	64
Figura 5.3 – Tela de dados do modelo de simulação WEAP.....	65
Figura 5.4 – Tela de resultados apresentado no modelo WEAP.....	67
Figura 6.1 – Visualização do esquema da bacia do Rio Gramame no modelo de simulação WEAP.....	76
Figura 6.2 – Calibração da demanda de Água da cidade de João Pessoa .....	78
Figura 6.3– Calibração da demanda de Água da cidade de Bayeux .....	78
Figura 6.4 – Calibração da demanda de Água da cidade de Cabedelo .....	79
Figura 6.5 – Calibração da demanda de Água da cidade do Conde .....	79
Figura 6.6– Calibração da demanda de Água do distrito de Jacumã .....	80
Figura 6.7 – Calibração da demanda de Água da cidade de Santa Rita.....	80
Figura 7.1 – Evolução do consumo <i>per capita</i> dos municípios da Grande João Pessoa.....	84
Figura 7.2 – Distribuição percentual do consumo de água por local de demanda ao longo do ano .....	86
Figura 7.3 – Atendimento as demandas de João Pessoa (%).....	90
Figura 7.4 – Atendimento as demandas de Cabedelo (%).....	91
Figura 7.5 – Atendimento as demandas de Bayeux (%).....	93
Figura 7.6 – Atendimento as demandas de Santa Rita (%) .....	94
Figura 7.7 – Atendimento as demandas de Conde (%).....	95
Figura 7.8 – Atendimento as demandas do distrito de Jacumã (%).....	96
Figura 7.9– Atendimento às demandas turísticas (%) .....	97
Figura 7.10 – Atendimento as demandas de irrigação (%).....	99
Figura 7.11– Afluentes e defluentes do reservatório Gramame-Mamuaba no cenário de desenvolvimento Pessimista .....	101
Figura 7.12 – Afluentes e defluentes do reservatório Gramame-Mamuaba no cenário de desenvolvimento Normal .....	102
Figura 7.13– Afluentes e defluentes do reservatório Gramame-Mamuaba no cenário de desenvolvimento Otimista .....	103
Figura 7.14 – Volume do reservatório Gramame-Mamuaba (m <sup>3</sup> ) .....	105
Figura 7.15 - Volume do reservatório Marés (m <sup>3</sup> ).....	107
Figura 7.16 – Representação da bacia do rio Gramame, em destaque o rio Mumbaba .....	110
Figura 7.17 – Atendimento as demandas da cidade de João Pessoa com a contribuição do reservatório Mumbaba (%).....	111
Figura 7.18 – Atendimento as demandas da cidade de Cabedelo com a contribuição do reservatório Mumbaba (%).....	112
Figura 7.19 – Atendimento as demandas da cidade de Bayeux com a contribuição do reservatório Mumbaba (%) .....	114
Figura 7.20 – Atendimento as demandas da cidade de Santa Rita com a contribuição do reservatório Mumbaba (%).....	115
Figura 7.21 – Atendimento as demandas ao Fluxo Turístico com a contribuição do reservatório Mumbaba (%) .....	116
Figura 7.22 – Atendimento as demandas a Irrigação com a contribuição do reservatório Mumbaba (%) .....	117
Figura 7.23 – Afluentes e defluentes do reservatório Mumbaba no cenário de desenvolvimento Pessimista .....	119
Figura 7.24 – Afluentes e defluentes do reservatório Mumbaba no cenário de desenvolvimento Normal.....	120
Figura 7.25 – Afluentes e defluentes do reservatório Mumbaba no cenário de desenvolvimento Otimista .....	121
Figura 7.26 – Afluentes e defluentes do reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando no cenário de desenvolvimento Pessimista .....	123

Figura 7.27 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando no cenário de desenvolvimento Normal .....	124
Figura 7.28 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando no cenário de desenvolvimento Otimista.....	125
Figura 7.29 – Volume do reservatório Mumbaba (m <sup>3</sup> ).....	127
Figura 7.30 – Volume do reservatório Gramame-Mamuaba com reservatório Mumbaba operando (m <sup>3</sup> ) .....	129
Figura 7.31– Volume do reservatório Marés com reservatório Mumbaba operando (m <sup>3</sup> ) .....	131

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Fatores de forma da Bacia do rio Gramame .....	38
Tabela 3.2 – Ocupação e uso do solo em 1998.....	39
Tabela 3.3 – Cota x Área x Volume da barragem Gramame .....	43
Tabela 3.4 – Cota x Área x Volume da barragem Mamuaba.....	44
Tabela 3.5 – Cota x Área x Volume da barragem Mamuaba.....	45
Tabela 3.6 – Dados de precipitação médias medidas na cidade de João Pessoa .....	46
Tabela 3.7 – Dados de precipitação mensal da estação do açude Gramame-Mamuaba .....	47
Tabela 3.8 – Dados climatológicos médios medidos na estação da cidade de João Pessoa .....	49
Tabela 3.9– Evaporação (mm) do tanque classe “A” medida na estação de tratamento de Marés.....	50
Tabela 6.1 – Permanência média (dias por mês) .....	72
Tabela 6.2 – Contagem populacional segundo IBGE em 1991 e taxa de crescimento observado entre 1991 e 2007 .....	73
Tabela 6.3 – Volumes mensais do açude Gramame-Mamuaba em termos de sua capacidade máxima.....	73
Tabela 6.4– Uso Consuntivo nos locais de demanda.....	74
Tabela 6.5 - Cenários hidrológicos observados entre 1990 e 2006 .....	75
Tabela 6.6 – Diâmetro dos <i>links</i> de transmissão do sistema de abastecimento da Grande João Pessoa.....	75
Tabela 7.1 – Crescimento populacional pelo modelo de simulação WEAP.....	81
Tabela 7.2 – População turística em três perspectivas de desenvolvimento.....	82
Tabela 7.3 – Consumo <i>per capita</i> adotado para horizonte de projeto .....	84
Tabela 7.4 – Perdas mensais de água (%).....	85
Tabela 7.5 – Distribuição do consumo mensal de água (%).....	86
Tabela 7.6 - Demandas hídricas futuras para abastecimento somadas às perdas (m <sup>3</sup> /mês) .....	87
Tabela 7.7 - Demandas hídricas futuras para abastecimento (m <sup>3</sup> /mês) excluídas as perdas físicas.....	87
Tabela 7.8 - Demandas hídricas futuras para atendimento ao fluxo turístico somada as perdas (m <sup>3</sup> /mês).....	88
Tabela 7.9 - Demandas hídricas futuras para abastecimento (m <sup>3</sup> /mês) .....	89
Tabela 7.10-Cenários hidrológicos previstos .....	89
Tabela 7.11 – Resultados da simulação do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2007 a 2027.....	108
Tabela 7.12 – Indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2007 a 2027 para os cenários de Crescimento Turístico Pessimista, Normal e Otimista .....	108
Tabela 7.13 – Alocações de água do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2010 e 2027 (%).....	126
Tabela 7.14– Resultados da simulação do reservatório Mumbaba entre 2010 a 2027 .....	128
Tabela 7.15 – Indicadores de desempenho do reservatório Mumbaba entre 2010 a 2027 .....	128
Tabela 7.16 – Resultados da simulação do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2010 a 2027 com a operação do reservatório Mumbaba.....	130
Tabela 7.17 – Indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2010 a 2027 com a operação do reservatório Mumbaba .....	130

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
BOH	Boletim de Ocupação Hoteleira
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONDIAM	Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal da Área Metropolitana
DER	Departamento de Estradas de Rodagem do Estadual da Paraíba
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GIS	<i>Geographical Information Systems</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWMI	<i>International Water Management Institute</i>
LabSid	Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
MH	Meio de Hospedagem
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMT	Organização Mundial do Turismo
PBTUR	Empresa Paraibana de Turismo S/A
PDITS	Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável
PRPP	Programa de Recuperação e Perfuração de Poços
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEI	<i>Stockholm Environmental Institute</i>
SGI	Sistema de Gerenciamento de Informações
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SUDENE	Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste
WEAP	<i>Water Evolution and Planning System</i>
WTO	<i>World Tourism Organization</i>

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>X</b>
<b>CAPITULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b> Introdução .....	15
<b>1.2</b> Objetivo geral.....	18
<b>1.3</b> Objetivos específicos.....	18
<b>CAPITULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b> Turismo .....	19
<b>2.1.1</b> Definição de Turismo .....	19
<b>2.1.2</b> Planejamento Turístico .....	19
<b>2.1.3</b> Nível de Planejamento Turístico .....	21
<b>2.1.4</b> Planejamento Diferencial .....	22
<b>2.1.5</b> Gestão do Turismo .....	24
<b>2.1.6</b> Turismo Sustentável .....	25
<b>2.2</b> Recursos Hídricos .....	26
<b>2.2.1</b> Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos .....	26
<b>2.2.2</b> Gestão dos Recursos Hídricos.....	28
<b>2.2.3</b> Simulação .....	30
<b>2.2.4</b> Operação de reservatórios .....	32
<b>2.2.5</b> Modelo Chuva-vazão.....	33
<b>2.2.6</b> Indicadores de desempenho .....	33
2.2.6.1 Confiabilidade .....	34
2.2.6.2 Resiliência .....	35
2.2.6.3 Vulnerabilidade .....	36
2.2.6.4 Sustentabilidade .....	36
<b>CAPITULO III - A BACIA DO RIO GRAMAME</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b> Localização .....	37
<b>3.2</b> Forma da Bacia .....	38
<b>3.3</b> Cobertura vegetal e uso do solo .....	38
3.3.1 Cobertura vegetal .....	38
3.3.2 Uso do solo.....	39
<b>3.4</b> Climatologia .....	40
<b>3.5</b> Águas subterrâneas .....	41
<b>3.6</b> Aspectos ambientais .....	42
<b>3.7</b> Descrição do reservatório em estudo .....	43
3.7.1 Reservatório Gramame .....	43
3.7.2 Reservatório Mamuaba.....	44
3.7.3 Reservatório Marés.....	45
<b>3.8</b> Características Físico-Hidráulicas .....	45
3.8.1 Precipitação .....	45
3.8.2 Vazão Afluente.....	47
3.8.3 Evaporação .....	49
<b>3.9</b> Atendimento as Demandas .....	50
3.9.1 Abastecimento urbano .....	50
3.9.2 Irrigação.....	51
3.9.3 Indústria.....	51
<b>CAPITULO IV – CONTEXTO TURÍSTICO</b> .....	<b>52</b>
<b>4.1</b> Atividade turística na Grande João Pessoa.....	52
<b>CAPITULO V - O MODELO DE SIMULAÇÃO WEAP</b> .....	<b>57</b>

<b>5.1</b>	<b>Descrição do Modelo</b>	57
<b>5.2</b>	<b>O Modelo de Operação</b>	58
<b>5.3</b>	<b>Algoritmos utilizados</b>	59
5.3.1	Locais de demanda	59
5.3.2	Bacia hidrográfica	60
5.3.3	Rios	61
5.3.4	Reservatórios	61
5.3.5	Águas subterrâneas	63
5.3.6	Tubos de transmissão	63
5.3.7	Retorno	63
<b>5.4</b>	<b>Fluxograma do Modelo</b>	64
<b>5.5</b>	<b>Entrada de Dados</b>	64
<b>5.6</b>	<b>Apresentação dos Resultados</b>	65
<b>CAPÍTULO VI - METODOLOGIA DA PESQUISA</b>		<b>68</b>
<b>6.1</b>	<b>Metodologia</b>	68
<b>6.2</b>	<b>Cenários Hidrológicos</b>	68
6.2.1	Cenário Hidrológico Muito Seco	69
6.2.2	Cenário Hidrológico Seco	69
6.2.3	Cenário Hidrológico Normal	69
6.2.4	Cenário Hidrológico Chuvoso	69
6.2.5	Cenário Hidrológico Muito Chuvoso	70
<b>6.3</b>	<b>Cenários de Crescimento das Demandas</b>	70
6.3.1	Cenário de Crescimento Pessimista	70
6.3.2	Cenário de Crescimento Normal	70
6.3.3	Cenário de Crescimento Otimista	71
<b>6.4</b>	<b>Desenvolvimento do Contexto Turístico</b>	71
<b>6.5</b>	<b>Condições Iniciais</b>	73
<b>6.6</b>	<b>Aplicação do Modelo de Simulação</b>	73
6.6.1	Calibração e Sensibilidade	76
<b>CAPÍTULO VII – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>		<b>81</b>
<b>7.1</b>	<b>Crescimento Populacional</b>	81
7.1.1	Crescimento Turístico	82
<b>7.2</b>	<b>Demandas</b>	83
7.2.1	Consumo médio <i>per capita</i>	83
7.2.2	Perdas do sistema	85
7.2.3	Variação mensal do consumo	85
7.2.4	Resultado das Demandas	86
<b>7.3</b>	<b>Série hidrológica</b>	89
<b>7.4</b>	<b>Atendimento as demandas</b>	90
7.4.1	João Pessoa	90
7.4.2	Cabedelo	91
7.4.3	Bayeux	93
7.4.4	Santa Rita	94
7.4.5	Conde	95
7.4.6	Jacumã	96
7.4.7	Turismo	97
7.4.8	Irrigação	99
<b>7.5</b>	<b>Afluxos e defluxos do sistema Gramame-Mamuaba</b>	100
<b>7.6</b>	<b>Reservatórios</b>	104
7.6.1	Reservatório Gramame-Mamuaba	104
7.6.2	Reservatório Marés	107
<b>7.7</b>	<b>Indicadores de desempenho</b>	108
<b>7.8</b>	<b>A implantação do reservatório Mumbaba</b>	109
7.8.1	<b>Atendimento as demandas</b>	110
7.8.1.1	João Pessoa	111
7.8.1.2	Cabedelo	112
7.8.1.3	Bayeux	114
7.8.1.4	Santa Rita	115
7.8.1.5	Turismo	116

7.8.1.6	Irrigação .....	117
7.8.2	<b>Afluxos e defluxos do reservatório Mumbaba</b> .....	118
7.8.3	<b>Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com Mamuaba operando</b> .....	122
7.8.4	O reservatório Mumbaba .....	127
7.8.4.1	Indicadores de desempenho do reservatório Mumbaba.....	128
7.8.5	O reservatório Gramame-Mamuaba .....	129
7.8.5.1	Indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba .....	130
7.8.6	O reservatório Marés .....	130
<b>CAPÍTULO VIII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....		<b>132</b>
8.1	<b>Conclusões</b> .....	132
8.1.1	<b>Cenário de crescimento Pessimista</b> .....	133
8.1.2	<b>Cenário de crescimento Normal</b> .....	134
8.1.3	<b>Cenário de crescimento Otimista</b> .....	134
8.1.4	<b>Conclusões sobre as simulações</b> .....	135
8.2	<b>Recomendações</b> .....	135
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....		<b>136</b>
<b>A N E X O S</b> .....		<b>141</b>

## CAPITULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

---

### 1.1 Introdução

Água é fundamental para o desenvolvimento econômico de uma determinada região, no Brasil a maioria das atividades econômicas requer uma demanda de água, seja para utilização no processo produtivo ou para a geração de energia elétrica. O turismo, ao longo dos anos, vem se tornando um forte setor da área econômica, capaz de levar ao desenvolvimento de regiões. No entanto, também é um setor com grande poder de causar impacto no meio ambiente e na comunidade local.

Segundo o relatório da WTO (*World Tourism Organization*), órgão ligado ao Comitê das Nações Unidas, o turismo é o setor econômico de maior índice de desenvolvimento da atualidade, com um índice de crescimento de 5,50% só no ano de 2005. Os números apresentados no relatório mostram a existência de 806 milhões de turistas. Estima-se que 680 bilhões de dólares tenham sido movimentados nesse ano. A expectativa da WTO é que no ano de 2020, tenha-se em torno de 1,6 bilhões de turistas viajando pelo mundo, uma vez que esta é uma atividade em ascensão.

Na Namíbia, um país com características de semi-árido localizado no Noroeste do continente africano, conflitos foram gerados em virtude do uso da água e a exploração da indústria do turismo, que é o quarto setor mais forte economicamente no país. Segundo Schachtschneider (2001), a solução para esses conflitos está na adaptação de novas políticas para regiões de semi-árido, integrando os interesses econômicos e os princípios étnicos.

Na Nova Zelândia, o Ministério do Desenvolvimento Econômico em conjunto com o Ministério de Turismo desenvolvem pesquisas para avaliar os impactos da atividade turística na infra-estrutura dos locais mais visitados, como: *Queenstown Lakes District, Kaikoura, Rotorua e Stewart Island*. Esse estudo é avaliado a cada dois anos para verificar o custo de operação do sistema de abastecimento e drenagem, em função das parcelas destinadas ao turismo, através das acomodações em hotéis e pousadas. Estima-se que a parcela de custo operacional voltado para o turismo seja de 50% nos meses de pico. O estudo serve para avaliar o custo *versus* benefício do turismo. O governo neozelandês busca o planejamento estratégico das ações para o desenvolvimento do turismo sem prejudicar a população local, e sem causar passivos ambientais.



Segundo Lemos e Souza (2007), a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), uma forma de avaliar antecipadamente os impactos ambientais causados por determinada atividade, já é adotada em diversos países como instrumento que auxilia a incorporação de questões ambientais às tomadas de decisão, considerando como parte do processo a participação da sociedade. Os autores apontam a necessidade de fazer uso da Avaliação Ambiental Estratégica para tentar equacionar os impactos causados pelo turismo e as necessidades de manutenção dos recursos hídricos, visto que a água é um atrativo turístico.

Os municípios lindeiros, os que estão situados às margens dos reservatórios, são exemplos de como a água torna-se um atrativo turístico e de quão é importante à avaliação da sustentabilidade nos locais de exploração da atividade. Estudos realizados por Almeida *et al.* (2007), no reservatório de Furnas, para determinar a perda de receita do setor turístico para cada metro de deplecionamento do reservatório, mostram que o setor turístico pode sofrer duras sanções em períodos de escassez. Os estudos levaram em consideração o número de leitos existentes nos municípios lindeiros ao reservatório. O autor concluiu que quanto maior o deplecionamento do reservatório menor é a taxa de ocupação dos leitos.

A exploração econômica do turismo no Brasil é motivo da criação de secretarias especiais nas três esferas do governo, em função da renda gerada nas comunidades envolvidas com o turismo. No entanto, as atividades de turismo devem ser planejadas em conjunto com outras secretarias, pois o turismo gera conflitos que devem ser corrigidos para diminuir os impactos ambientais, bem como os impactos sociais causados as comunidades exploradas economicamente com o turismo.

A atividade turística pode causar impactos aos mananciais e aos reservatórios de água de duas maneiras diferentes. A primeira forma pode ser de impacto ambiental, causada pelo fluxo turístico, através da poluição direta no manancial ou reservatório, quando a água é utilizada para recreação e a população turística não tem orientação para evitar a degradação ambiental. A segunda forma pode ser de impacto social, através dos conflitos gerados pela disputa pelo direito de uso da água, a população local pode ter o abastecimento de água reduzido em função do aumento da população turística. O nível dos reservatórios pode ser reduzido rapidamente se não foram planejados para atender a população local e a população flutuante e seus respectivos crescimentos. Além dos casos da Namíbia e da Nova Zelândia, em Portugal, o Instituto da Água realizou estudos para a construção da barragem de Odelouca para garantir o abastecimento no Barlavento Algarvio, o motivo principal para a realização dos estudos foi o aumento do fluxo turístico na região e a necessidade de diminuir os conflitos gerados pela disputa pelo uso da água.

De maneira geral, o estado da Paraíba encontra-se inserido basicamente nos roteiros turísticos de sol e mar, por apresentar mais de 138 km de faixa litorânea, com belas paisagens de praia e mar calmo com águas mornas. O esforço governamental dos últimos quinze anos, tem apresentado ao mundo uma Paraíba rica em história, cultura, artesanato, paleontologia e riquezas naturais com elevado potencial exploratório para o turismo. O resultado dessas ações pode ser percebido através dos números apresentados nos últimos 10 anos, do fluxo turístico, que apresenta um crescimento de cerca de 30% em relação aos anos anteriores.

No entanto, verifica-se que ainda há uma tendência de maior fluxo nos meses de verão que iniciam com um fluxo incremental modesto no mês de novembro, aumenta no mês de dezembro e cresce vertiginosamente em janeiro, onde se observa o maior fluxo de turistas. Durante os outros meses do ano o fluxo de turista mostra-se contínuo, porém de forma moderada.

A preocupação dos órgãos governamentais com o desenvolvimento turístico no estado da Paraíba pode ser avaliada através do PDITS - Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável (2004). Nos documentos elaborados verifica-se a necessidade de implantação de ações estruturantes para o fortalecimento do setor no estado. São contempladas ações para o saneamento, sistema viário e recuperação do patrimônio histórico.

Estudos realizados por Silva *et al.* (2002) apresentam o turismo como uma característica específica de desenvolvimento sócio-econômico na bacia hidrográfica do rio Gramame. A preocupação do autor era mostrar a necessidade de se observar o potencial turístico da região metropolitana da Grande João Pessoa, que já despontava em seu crescimento, e conseqüentemente, os impactos causados pelo setor turísticos no atendimento as diversas demandas de água. A elaboração deste trabalho vem preencher uma lacuna existente nos estudos sobre o atendimento as demandas hídricas da Grande João Pessoa, que avalia os impactos do crescimento turístico na infra-estrutura hídrica da Grande João Pessoa, abastecida pelo reservatório Gramame-Mamuaba. A necessidade de planejamento dos recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento econômico e social da região. Sendo assim, o manancial hídrico caracterizado pelo reservatório Gramame-Mamuaba torna-se o elemento fundamental do estudo, pois é através da operação destes reservatórios que se baseia o sistema de abastecimento da região.

## **1.2 Objetivo geral**

Avaliar os efeitos do crescimento do fluxo turístico na demanda de água no sistema de abastecimento da Grande João Pessoa, através do diagnóstico da ocupação hoteleira e consumo hídrico micro e macro-medidos, e a possibilidade de aporte hídrico de outros mananciais e determinar os impactos causados, no horizonte de projeto em termos de indicadores sustentabilidade do uso e armazenamento da água.

## **1.3 Objetivos específicos**

- 1.3.1. Verificar o uso atual da água do reservatório;
- 1.3.2. Levantar dados e fazer um diagnóstico sobre o crescimento turístico na cidade de João Pessoa e redondeza;
- 1.3.3. Efetuar um diagnóstico sobre o consumo hídrico e perdas físicas em termos de volumes de água bruta captados em reservatórios e volumes micro-medidos pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgoto da Paraíba);
- 1.3.4. Determinar cenários hidrológicos e cenários de desenvolvimento turístico, sendo que para cada um deles, determinar as demandas mensais, e o volume do reservatório;
- 1.3.5. Averiguar as condições de sustentabilidade hídrica do uso dos reservatórios para fins de abastecimento humano;
- 1.3.6. Averiguar os indicadores de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade dos reservatórios para os cenários de crescimento econômico;
- 1.3.7. Determinar a situação da bacia com a contribuição de outros mananciais, analisando o aproveitamento e os indicadores de sustentabilidade;

## CAPITULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 Turismo

#### 2.1.1 Definição de Turismo

A *World Tourism Organization* (WTO) aponta que o turismo engloba as atividades das pessoas que viajam e permanecem em lugares fora de seu ambiente usual durante não mais do que um ano consecutivo, por prazer, negócios ou outros fins.

Segundo Ansarah (2004) *apud* Hunziker & Kraft (1942), turismo é a soma dos fenômenos e das relações resultantes da viagem e da permanência de não-residentes.

Segundo De La TORRE (1997), turismo é a soma de relações e de serviços resultantes de uma mudança de residência temporária e voluntária motivada por razões alheias a negócios ou profissionais.

Segundo Wahab (1991), o turismo é um fenômeno que se refere ao movimento de pessoas dentro do seu próprio país ou cruzando as fronteiras nacionais.

#### 2.1.2 Planejamento Turístico

O termo planejamento possui inúmeras definições, todas elas representam a necessidade de traçar um roteiro de ações para atingir um objetivo, podendo o objetivo ser de caráter individual ou em nível corporativo.

Segundo Ruschmann (1997), planejamento é uma atividade que envolve a intenção de estabelecer condições favoráveis para alcançar objetivos propostos. Baptista (1981) diz que o planejamento se refere ao processo permanente e metódico de abordagem racional e científica de problemas. Segundo Angeli (1996) *apud* Holanda (1985), planejar é decidir antecipadamente o que deve ser feito. O planejamento é uma linha de ação pré-estabelecida.

O planejamento deve ter bem definido os objetivos, os recursos humanos deverão ser distribuídos em cada fase, bem como, também, os materiais que devem ser alocados com alguma antecedência. Os prazos devem ser definidos em um cronograma e a metodologia a ser aplicada nas fases deve ser, também, pré-estabelecida. Todos os detalhes devem ser arquitetados e previstos, de modo que não haja surpresa quando as tarefas estejam sendo realizadas.

Segundo Angeli (1996), o sistema de planejamento consiste numa série de sub-sistemas ou micro-sistemas coordenados com seqüência e complexidade variadas para cada caso. São necessárias decisões sucessivas, de acordo com a necessidade de resposta para cada situação

do planejamento. Há um ciclo, primeiro obtém-se informações, na seqüência são feitas as avaliações dessas informações, em seguida são elaboradas as propostas de mudança, se necessário, algumas decisões são tomadas e finalmente devem ser implantadas.

Ainda segundo o mesmo autor, nessa sucessão do ciclo, as informações virão de diversas fontes e o grau de mudança a ser estabelecido será bastante variável. O que realmente é estável e que tem sempre peso constante a todo o momento é o ato de decidir. O sucesso do planejamento depende das decisões tomadas nos momentos certos.

O ciclo entre informação, avaliação, mudança e implantação deve ser considerado no planejamento turístico, pois existem dois lados a serem observados constantemente, o primeiro é a demanda turística, que deve ter suas expectativas atendidas, e o segundo é o pólo receptor, que não deve ser privado dos seus direitos nem tão pouco absorver os impactos negativos do turismo.

Segundo Holanda (1985), para o planejamento de um projeto são necessários dois momentos distintos: o diagnóstico e o prognóstico. Na fase de diagnóstico são feitas as considerações que resultam na necessidade de planejar e é, também, o momento em que são determinadas a abrangência na qual se limita o planejamento, ou seja, fica estabelecido o foco principal do plano. O prognóstico são justamente as suposições sobre o que deve acontecer quando o planejamento estiver em ação. O planejador aponta as alternativas para atingir o foco do plano. O prognóstico nada mais é do que estabelecer o fazer para que o planejamento seja bem sucedido.

O prognóstico apontado por Holanda (1985) é a fase mais extensa do processo de planejamento, nessa fase são utilizadas equações matemáticas, dados estatísticos e pesquisas de campo e/ou bibliográficas. Esses recursos devem ser utilizados para a realização de previsões e indicação de tendências.

São necessárias informações corretas e precisas para a elaboração de um plano. A consistência de informações deve ser a mais exata possível. A indicação de tendências depende basicamente de informações anteriores ao planejamento. No caso de imprecisão das informações, o prognóstico pode partir de suposições falsas e no final o planejamento fatalmente não terá o sucesso desejado.

Segundo Angeli (1996), o planejador terá sua escolha facilitada se o objeto do planejamento se apresentar como resultado de um *feed-back*. Nesse caso, o planejador deverá estar atento às respostas de cada ação adotada durante o andamento do projeto, para isso cada ação deverá ser sistematizada, interpretada e documentada, a esse processo dá-se o nome de planificação.

Segundo Ladwing e Dias (2004), para empreender ações de planejamento é necessário conhecer a realidade espacial do território em questão, independente da escala espacial de interesse que pode ser um país, região, estado, bacia hidrográfica, município, etc.

O mesmo autor afirma que é necessário demonstrar quais são os limites do planejamento turístico e os resultados desejados no nível estratégico da sustentabilidade. Os limites devem ser compreendidos como as transformações ambientais e todas as conseqüências ao patrimônio histórico cultural e aos recursos naturais, devido à exploração da atividade turística. Os desejos são justamente as perspectivas de conservação e manutenção dos recursos e do patrimônio explorado turisticamente.

Segundo Irving *et al.* (2005), todas as formas de turismo deveriam ser sustentáveis e esse deveria, em tese, ser o compromisso central em planejamento.

O planejamento turístico deve contemplar a sustentabilidade, que deve ser uma conseqüência da exploração dessa atividade econômica. O planejamento sustentável do turismo deve atingir tanto as empresas como a comunidade envolvida. As empresas através da exploração da sua imagem no contexto social, com uma preocupação ambiental, com baixo impacto e prejuízos ao meio ambiente. A comunidade deve sentir os ganhos na qualidade de vida, através da geração de emprego e renda, bem como a comunidade não pode ser privada de nenhum espaço ou recurso devido à exploração turística. Os interesses dos atores, dentro do contexto turístico, devem ser preservados.

Ainda segundo Irving *et al.* (2005), promover turismo sustentável não representa apenas controlar e gerenciar os impactos negativos. O desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais e renováveis devem ser trabalhados simultaneamente para promover benefícios em sentido amplo.

O meio ambiente pode ser considerado como a base da atividade econômica vinculada ao turismo e, por isso, apresenta uma série de limitações e, também, de oportunidades para exploração e desenvolvimento.

Segundo Ruschmann (1997) a perpetuação da atratividade dos recursos turísticos é, portanto, a base do desenvolvimento sustentável do turismo.

### **2.1.3 Nível de Planejamento Turístico**

Segundo Angeli (1996) o planejamento de turismo pode se dividir em vários níveis, obedecendo a um critério de complexidade crescente, divididos em primeiro, segundo e terceiro níveis. De modo geral, o primeiro nível são as atividades isoladas, como: excursões,

viagens e eventos turísticos, onde é necessário apenas o investimento direcionado para aquele público alvo, não requer muito tempo para a preparação. No segundo nível, seguindo a evolução, existe a necessidade de transformação de cidades para receber o turismo, o que demanda tempo e investimentos para a construção de equipamentos turísticos, contudo os resultados deverão aparecer a longo prazo. No terceiro nível o autor considera os planos nacionais, ou seja, organizar as atividades turísticas do país como um todo, de forma que os outros dois níveis sejam contemplados.

Ruschmann (1997) divide os níveis conforme as responsabilidades governamentais. Está, também, diretamente ligada a manutenção do meio ambiente. São os níveis: local, regional, nacional e internacional. Nesse caso, o sentido de abrangência é decrescente, partindo das proporções internacionais para as locais. À nível internacional, as políticas de planejamento turístico devem ser elaboradas através de recursos que interliguem dois países, como por exemplo: um rio, um lago ou uma montanha, que seja a fronteira entre esses países. Para isso são necessários o fechamento de acordos de cooperação. De acordo com a mesma autora, à nível nacional a preocupação é a geração de renda sem geração de impactos ao meio ambiente. O governo deve ainda empreender ações preventivas e corretivas para manter a qualidade do meio ambiente. É necessária, também, a distribuição temporal e espacial das atividades turísticas por todo território de forma integrada entre as regiões.

Segundo Ruschmann (1997), no nível regional o foco está na infra-estrutura do uso e ocupação do solo, melhoria do sistema de transporte, elaboração de planos de atividades recreativas para a comunidade local e para o turista e principalmente a criação de planos de conservação de áreas de proteção ambiental. Nesse nível, se necessário, a cultura regional deve ser revitalizada.

Finalmente em nível local, os atrativos turísticos devem ser valorizados e melhorados substancialmente. A implantação de equipamentos turísticos deve ser trabalhada para garantir a continuidade e aumento do fluxo turístico. As autoridades competentes devem proteger as áreas frágeis, é importante que as características naturais sejam mantidas e não deve haver choque cultural. O ponto mais importante que se pode destacar nesse nível é a medição e avaliação quantitativa e qualitativa da demanda do fluxo turístico.

#### **2.1.4 Planejamento Diferencial**

Angeli (1996) aponta que o planejamento diferencial requer a previsão de: acessos, estacionamentos, água, esgoto, energia elétrica, telefone, rede de alimentação, equipamentos

diferenciados e serviços que sejam imprescindíveis ao turista. Deve ser algo que realmente faça a distinção do destino, uma referência em atendimento e em equipamentos específicos ao turismo.

O entendimento de Ruschmann (1997) aponta que o importante, nesse caso, são as atividades e os benefícios que elas produzem nos indivíduos e não as instalações em si.

Ainda o mesmo autor afirma que os índices e padrões de ocupação e o uso das instalações turísticas e recreativas devem considerar os aspectos humanos, ambientais e os interesses e as habilidades dos seus usuários reais e potenciais.

Planejamento diferencial não necessariamente implica na construção de um equipamento físico para servir de apoio ao turista, mas, também, pode ser um conjunto de ações que visem à segurança e o conforto do turista. Deve ser lembrado neste tópico que o turista deve ter uma experiência agradável durante todo o seu roteiro. Começando no embarque até o regresso para sua casa, tudo deve acontecer conforme o planejamento, isso é, atender ao máximo as expectativas. O algo mais, o que excede a expectativa do turista, é um impacto positivo na sua memória e é o objetivo do planejamento diferencial.

Segundo Ruschmann (1997), o planejamento de áreas, espaços e instalações para recreação envolve a análise cuidadosa dos fluxos e da circulação de pessoas. O atendimento a um grande número de pessoas simultaneamente com o dimensionamento da capacidade das instalações não devem ser planejadas somente para atender um pico ocasional de demanda, mas, devem sim, ser planejadas para uma consequência de dias de ocupação ótima.

Os autores, Angeli (1996) e Ruschmann (1997), mostram que existe uma necessidade da realização do planejamento diferencial de acordo com os atrativos turísticos. Em geral, são abordados como atrativos as praias, as montanhas, os portos ou marinas, os lagos ou represas, os serviços de estrada, as áreas para a realização de jogos, as áreas para a realização de atividades culturais, os centros de convenções e todas as áreas destinadas à recreação.

Segundo Angeli (1996), no planejamento diferencial devem ser realizadas pesquisas para não se correr o risco de se criar equipamentos ociosos. A preocupação da autora se deve ao fato de que muitos usuários de um atrativo turístico não tenham necessidade de fazerem uso de um determinado equipamento turístico, como é o caso de usuários residentes próximos a atração turística que não necessitam de fazer uso de hotéis, restaurantes ou serviços de transporte especializado.

No planejamento diferenciado devem ser feitas escolhas com base na opinião das comunidades local e regional. Devem ser envolvidas, nesse processo, as agências e



organizações que realizam e desenvolvem atividades essenciais na criação e manutenção do produto turismo.

### **2.1.5 Gestão do Turismo**

Segundo Freitas (2005), a gestão consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos ou socioculturais interativos, objetivando compatibilizar o uso dos espaços com potencial de exploração para o turismo.

Ruschmann (1997) aponta à necessidade de se observar a gestão dos espaços turísticos e a determinação das propriedades para o seu desenvolvimento. Segundo a autora, os recursos destinados para a atividade turística são mobilizados apenas em casos excepcionais e muito particulares, em geral de forma emergencial. Existe a necessidade de investimentos na estruturação e manutenção de equipamentos turísticos, deve também haver investimentos na infra-estrutura.

Segundo Tunbridge (2001), a gestão global do turismo regional é difusa e desordenada. Envolve uma profusão de tomadores de decisão públicos e privados, que estão focados no desenvolvimento apenas das atividades turísticas. As preocupações com a infra-estrutura da cidade, por exemplo, ficam em segundo plano, ou é acompanhado com certa distancia.

A gestão do turismo não deve possuir apenas estratégias voltadas para os grandes fluxos turísticos, devem ser observadas as demandas, as ofertas e todo o estudo de mercado em torno de pequenos atrativos turísticos, em nível local.

A composição de um local propício para o turismo requer instalações apropriadas, atrações adequadas e serviços ao nível das expectativas do turista. Após o atendimento desses três requisitos, a gestão do turismo deve buscar a manutenção e a melhoria contínua desses requisitos.

Segundo Tunbridge (2001), a gestão do turismo é preocupação dos municípios, que devem estabelecer circuitos de interesse turístico conforme suas próprias agendas espaciais.

A gestão de uma atividade econômica tão complexa, como é o caso do turismo, requer a participação das demais esferas do governo. Grande parte dos municípios brasileiros não possui recursos para investir em infra-estrutura, por exemplo. A ampliação de uma rede de distribuição de água é fundamental para a instalação de novas pousadas e hotéis, esses equipamentos turísticos são necessários para a permanência do turista na cidade. Por essa perspectiva, é necessária a realização da gestão do turismo em consonância com a gestão das demandas de água, para garantir o abastecimento dentro da cidade.

### 2.1.6 Turismo Sustentável

Segundo Petrocchi (1998), a expansão do turismo deve ocorrer até o limite da capacidade territorial de receber visitantes. Deve-se impor limites ao crescimento do turismo, pela preservação do meio ambiente, tanto do ponto de vista físico quanto social.

Segundo Ruschmann (1997), a inter-relação entre o turismo e o meio ambiente é incontestável, uma vez que este último constitui a “matéria-prima” da atividade.

O cotidiano agitado da vida urbana, com um mercado competitivo e as pressões sofridas pelos trabalhadores das grandes cidades, tem criado um fenômeno patológico comumente conhecido com *stress*. A necessidade de sair do ambiente urbano conturbado, e buscar regiões onde o contato com a natureza é próximo, tem sido cada vez mais comum, e o fluxo turístico vem crescendo, principalmente no setor de lazer e descanso.

A taxa de crescimento anual do turismo gira em torno de 4% a 5% ao ano, esse aumento na demanda implica diretamente na degradação ambiental. Um dos maiores problemas na gestão do turismo, reside na identificação dos impactos do fenômeno turístico junto ao meio ambiente.

Segundo Ruschmann (1997) *apud* Pierre Fiori (1978), o impacto sobre o meio ambiente jamais será nulo. Para analisar o impacto, Fiori desenvolveu uma fórmula para medir as depredações em função da vulnerabilidade do meio e da carga turística, sendo:

$$IMPACTO = \frac{CARGA\_TURÍSTICA}{VULNERABILIDADE} \quad (2.1)$$

Desse modo, para garantir a preservação de um determinado local, é necessário determinar a fragilidade do ecossistema e limitar a capacidade de carga turística de modo a não comprometer o atrativo turístico.

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) (1991) entende desenvolvimento sustentável, como:

*Processo de transformação, no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação da evolução tecnológica e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas.*

A base econômica do turismo está no meio ambiente. A preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento turístico devem encontrar um equilíbrio, caso contrário, em um prazo de tempo determinado o atrativo turístico deixará de existir em consequência da degradação sofrida.

Uma maneira de tentar equilibrar o desenvolvimento turístico e a necessidade de preservação do meio ambiente é aplicando ferramentas de gerenciamento ambiental, utilizadas para manter o equilíbrio do desenvolvimento sustentável é através da elaboração de documentos, como: EIA (Estudo de Impacto Ambiental), RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) e PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas), a elaboração desses documentos, por exemplo, são exigidos para a implantação de um reservatório de água, como é o caso das barragens. Em geral, estes documentos são elaborados por equipes multidisciplinares, que buscam apresentar de forma escrita os impactos positivos e negativos da atividade a ser explorada economicamente. São observados aspectos, econômicos, sociais, culturais e principalmente a relação desses aspectos com o meio ambiente.

## **2.2 Recursos Hídricos**

### **2.2.1 Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos**

A humanidade tem o desafio de equilibrar a oferta e a demanda dos recursos naturais. Com relação aos recursos hídricos, o desafio é ainda mais urgente. Já se sabe há muito tempo que a água é um recurso natural finito e que a vida depende do consumo de água.

Segundo Albuquerque e Kishi (1992), garantir as condições necessárias para o pleno desenvolvimento requer uma política adequada e o planejamento sistemático da exploração dos recursos hídricos para evitar o esgotamento dos mananciais.

Em quase todas as atividades humanas existe a necessidade de utilização da água. Por isso, há, nos últimos anos, um aumento nos conflitos pelo consumo de água. A gestão dos recursos hídricos é a saída mais eficiente para diminuir a disputa pelo uso da água.

Segundo Mota (1995), nos programas de proteção de recursos hídricos não se deve considerar o corpo de água isoladamente, mas como integrante de um ambiente completo, que forma a sua bacia hidrográfica. Qualquer alteração ocorrida no meio ambiente, em um determinado local, terá conseqüências, ou em nível temporal, ou em nível espacial. As alterações das condições ambientais sofridas em uma bacia hidrográfica podem apresentar deficiência na quantidade de água em um prazo de tempo, que vai depender diretamente da velocidade da alteração do meio ambiente. Em nível espacial a qualidade da água pode ser alterada a partir da instalação de uma fonte poluidora em determinado trecho da bacia hidrográfica.

Segundo Campos (2003), o planejamento é constituído pelo conjunto das atividades necessárias à previsão das disponibilidades e das demandas de água, com vistas a maximizar os benefícios econômicos e sociais.

Segundo Lanna (2004), o planejamento dos recursos hídricos aparece como uma atividade complexa, que envolve grande número de disciplinas e que deve ser aplicado por equipes multi e interdisciplinares. O mesmo autor afirma, ainda, que o planejamento é a parte que trata da realização de estudos e preparo de documentos com vistas a orientar e adequar às intervenções humanas nos setor dos recursos hídricos.

Os estágios de um planejamento dos recursos hídricos são apontados por Lanna (2004), sendo divididos em: Política, Plano de Enquadramento, Plano Diretor, Estudo de Viabilidade, Projeto Básico e Projeto Executivo.

Segundo Freitas (2005), a água é um recurso natural renovável, mas não inesgotável, que sofre sensivelmente as ações do homem, que lhe modificam sua qualidade e quantidade, exigindo, por esta razão, sua proteção.

O planejamento do uso dos recursos hídricos envolve uma série de documentos que classificam a água quanto ao tipo de uso, qual o valor de formação do capital da água e quais demandas hídricas serão atendidas. O setor de recursos hídricos é parte integrante de qualquer sistema economicamente ativo, participando de outras atividades econômicas de forma direta ou indireta.

A dificuldade em planejar os recursos hídricos existe graças ao uso múltiplo da água dentro das atividades sócio-econômicas. A água tem participação, por exemplo, nos centros urbanizados, através do saneamento e do abastecimento da população. Nas zonas rurais o uso é ainda mais intenso, sendo a irrigação é uma das atividades que mais consomem água. Outras atividades econômicas são dependentes do consumo de água tal qual o setor de alimentação como um todo, que vai desde a produção de enlatados até a venda de comida pronta em um restaurante. A geração de energia elétrica, que no Brasil é feita, em grande parte, através das hidroelétricas, faz, também, um uso da água. Atividades industriais de mineração e de siderurgia fazem uso dos recursos hídricos.

Tentando simplificar, ordenar e elencar aspectos importantes no planejamento dos recursos hídricos, a Lei 9.433/97 adota a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implantação de um sistema de gerenciamento. Dessa forma a abrangência do planejamento fica limitada a uma determinada região.

### 2.2.2 Gestão dos Recursos Hídricos

Em relação à gestão dos recursos hídricos, o Plano Nacional da Água português (2004) afirma;

*a caracterização de um estado de referência, ou situação de partida, exige a existência de um vasto conjunto de dados cujo valor e utilidade está intimamente ligado com o rigor, as técnicas e métodos aplicados na sua produção e ainda com a longevidade das séries desses dados.*

Diante deste contexto, a obtenção de dados atuais e consistentes, através de medições, tratamento, compilação e divulgação dos resultados obtidos, deve ser uma rotina necessária para a gestão dos recursos hídricos. A falta de dados precisos ou uso de dados desatualizados, tornam a gestão em mero ato casuístico. Não há como se pensar em desenvolvimento sem mencionar o planejamento a longo prazo e a gestão dos recursos hídricos.

Para qualquer situação de crescimento socioeconômico é imprescindível a realização de um diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e, a partir daí, elaborar as metas e objetivos do planejamento de longo prazo.

Segundo Mota (1995), gerenciamento dos recursos hídricos pode ser definido como um conjunto de ações a desenvolver para garantir às populações e às atividades econômicas uma utilização otimizada da água, tanto em termos de quantidade como de qualidade.

Campos (2003) *apud* Grigg (1996), diz que o gerenciamento de recursos hídricos é a aplicação de medidas estruturais e não estruturais para controlar os sistemas hídricos, naturais e artificiais, em benefício humano e atendendo a objetivos ambientais.

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem em uma de suas diretrizes gerais a gestão sistemática, considerando os aspectos de qualidade e quantidade da água. Em se tratando de recursos hídricos, qualidade e quantidade são indissociáveis, pois a demanda de água exige um volume de água, com uma qualidade satisfatória para atender um determinado uso.

Segundo Campos (2003), a gestão das águas é definida como o conjunto de procedimentos organizados no sentido de solucionar os problemas referentes ao uso e ao controle dos recursos hídricos. A busca das soluções para atender a necessidade dos usuários possui quatro vertentes para a gestão: oferta, uso, preservação e funções complementares.

A gestão da oferta é feita através do aumento da disponibilidade de água. A gestão hídrica por uso, conhecida também como gestão da demanda, apresenta características mais racionais de utilização da melhor maneira possível à disponibilidade hídrica da região. A gestão da preservação envolve ações corretivas de modo a garantir a preservação do meio ambiente das bacias hidrográficas. A gestão das funções complementares tem a característica

de formação de pessoal técnico e criação de instrumentos de pesquisa e desenvolvimento para realizar o melhor desempenho de suporte as funções hídricas.

Segundo Studart e Campos (2003),

*a gestão da demanda há que ser compreendida sob perspectivas diversas, que vão desde a visão individual, na ótica do consumidor doméstico e de uma indústria em particular, até uma visão mais ampla, em que se leva em conta os interesses da coletividade como um todo.*

Freitas (2005), afirma que quando se trata da demanda dos fatores de produção, ou capital natural, temos o gerenciamento da oferta dos recursos naturais.

Kemper (1996), diz que historicamente o aproveitamento da água tem sido caracterizado pela gestão da oferta. À medida que a água vai se tornando escassa, são feitos investimentos para o aumento da oferta com a ampliação da infra-estrutura hídrica.

Segundo Rocha e Coimbra (1998), a gestão da oferta dos recursos hídricos é a administração da disponibilidade hídrica, sendo que esta varia no tempo, no espaço e na qualidade. Caracteriza-se como uma atividade típica do governo.

O modelo de gestão da oferta usa estratégias de investimento e expansão do sistema, utilizando, preferencialmente, técnicas de exploração de novas áreas para aumento da disponibilidade hídrica.

A gestão dos recursos hídricos é feita através do poder público e suas leis. Em princípio, pode-se pensar que a dificuldade em gerir e compatibilizar os diversos tipos de uso da água venha da burocracia governamental. No entanto, é exatamente essa desarticulação do poder e a quantidade de leis que garante a visão mais ampla apontada por Studart e Campos (2003).

Segundo Lanna (2004), a gestão de recursos hídricos é uma atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que tem por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos.

O mesmo autor, ainda, classifica os conflitos em: de destinação de uso, de disponibilidade qualitativa e de disponibilidade quantitativa. O crescimento da população e o aumento do fluxo turístico podem gerar conflitos de disponibilidade quantitativa.

Freitas (2005), diz que a gestão de um recurso ambiental natural, econômico ou sociocultural consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos ou socioculturais interativos, objetivando compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso ambiental. Em relação às bacias hidrográficas, a unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos, o autor afirma que existe dificuldade no

gerenciamento devido à adequação administrativa dos organismos que tratam de recursos ambientais.

### 2.2.3 Simulação

A capacidade humana de obter soluções depende da quantidade de informações sobre determinada situação indesejada e da concepção intelectual de modelos de resolução do problema. A qualidade das informações também influencia na qualidade e na velocidade da solução do problema.

Os modelos de simulação são ferramentas capazes de reproduzir matematicamente situações reais, permitindo a análise de comportamento de um processo natural. É utilizada principalmente para analisar cenários possíveis de eventos futuros.

De acordo com Andrade (2000), as primeiras aplicações de modelo de simulação em recursos hídricos são registrados no ano de 1950, sendo utilizado um modelo para a simulação de reservatórios.

Segundo Lanna (1997), um dos grandes propósitos da análise de sistemas de recursos hídricos é a simulação para analisar o comportamento da realidade que eles representam.

Segundo Hanasaki *et al.* (2003), os modelos de simulação têm sido largamente usados para estimar a distribuição global das vazões dos rios, com fundamental atenção na sustentabilidade dos recursos hídricos.

De acordo com Simonovic (1992), a simulação é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de uma série de decisões para o gerenciamento e planejamento de recursos hídricos. Modelos de simulação apresentam vantagens na tomada de decisões, devido a sua facilidade de utilização e velocidade na obtenção das respostas dos possíveis cenários.

Garantir o atendimento dos requerimento de recursos hídricos, atendendo as demandas atuais e futuras, tem recebido um aumento de atenção, devido ao crescimento populacional e econômico, gerando expectativa por causa da escassez de água no mundo.

Segundo Yeh (1985), a utilização de modelos de simulação fornece meios de superar a dificuldade de busca de decisão. O uso de modelos de simulação tem se tornado cada vez mais comum, auxiliando os gestores na tomada de decisões sobre a alocação dos recursos hídricos. Deste que sejam implantados os dados corretos, os modelos de simulação são capazes de realizar uma série de cálculos matemáticos e estimar as conseqüências de determinados eventos hidrológicos.

Braga (1987) aponta dois tipos de modelo de simulação para estudos na área de recursos hídricos: o primeiro para simulação de processos hidrológicos e segundo para dimensionamento e operação de sistemas de recursos hídricos. Em geral, os modelos de simulação trabalham com o balanço hídrico, são registradas as entradas e saídas do volume de água no sistema. Outras variações podem ser, também, aplicadas junto com o modelo de simulação hídrica, como: avaliação da qualidade da água, avaliações de rendimento econômicas da distribuição, aproveitamento hidroelétrico e aproveitamento para irrigação.

O ACQUANET é um modelo de simulação, baseado em rede de fluxo, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid), na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Através de uma interface gráfica amigável, o modelo permite a estruturação de uma rede hídrica com um grande número de reservatórios, as demandas exigidas dos sistema com seus respectivos canais de ligação e integração, de acordo com análise a ser representada através do esquema montado. O sistema de recursos hídricos é representado por uma rede de “nós” e “arcos” dotados de limites, permitindo que suas capacidade mude ao longo do tempo. Os nós de volume, onde são armazenados os volumes de água; os nós de passagem, onde são feitas as distribuições de demanda, perdas, influxos, vazões e infiltrações. Os arcos de ligação, por onde segue o fluxo de massa com sentido unidirecional. Quanto maior for o número de nós existente na rede, maior é a precisão da simulação executada.

Segundo Vieira (2007) *apud* Andrew *et al.* (1996), o modelo de simulação AQUATOLL é uma ferramenta auxilia na tomada de decisões para o planejamento de bacias hidrográficas complexas. O modelo conta com um módulo de simulação de bacias e, também, de otimização, para o estudo de águas subterrâneas. Podem ainda serem feitas análises de risco hídrico com o modelo.

O WATER WARE é um modelo de gerenciamento de bacias hidrográficas. Criado por Jamieson e Fedra em 1996, para ajustar o planejamento das águas subterrâneas do Rio Tamisa, na Inglaterra. O modelo foi utilizado também no México, para minimizar o desperdício no sistema de abastecimento e melhorar o atendimento da irrigação no Rio Lerma.

RIVERWARE é uma ferramenta utilizada para simulação e otimização de bacias hidrográficas. Uma ferramenta flexível para a modelagem e gerenciamento de sistemas de reservatórios para diversos usos com operações diárias. Foi desenvolvida na Universidade do Colorado dos Estados Unidos da América no Centro Avançado de Suporte a Decisão para Sistemas de Água e Meio Ambiente.



O EPANET é um modelo de simulação hídrica desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* para redes de distribuição de água em condutos forçados, que fornece as vazões nos dutos, os níveis de água nos reservatórios, as pressões nos nós, a qualidade da água e os custos para o bombeamento de água na malha hídrica, durante um determinado período de tempo. O modelo também permite a construção de cenários para a análise dos desempenhos da rede hidráulica. O modelo EPANET é muito utilizado no meio científico, em função da sua robustez e eficácia nos diversos trabalhos científicos onde o modelo foi utilizado. A popularidade do EPANET no mundo acadêmico está ligada as mais de 50 funções incorporadas ao modelo, além da possibilidade de incorporação do modelo em outros *softwares* através das funções *Dynamic Link Library* (DLL).

#### **2.2.4 Operação de reservatórios**

Segundo Yeh (1985), as regras de operação de reservatórios devem ser construídas com modelos de simulação que simulem a operação do sistema de acordo com os influxos e suas demandas hídricas.

A construção de um reservatório requer um grande investimento como toda obra de engenharia, deve haver uma relação custo *versus* benefício para garantir o investimento da obra. Brass e Schumann (2003) dizem que um reservatório ou um sistema de reservatórios devem ser operados por mais de décadas. A colocação dos autores aponta a necessidade da realização de um estudo com longo horizonte de projeto. Vários fatores devem ser considerados devido à dinâmica do meio ambiente, o sistema deve ser adaptado para as condições de demanda para assegurar a eficiência em longo prazo e minimizar os impactos negativos. Sendo assim, as condições para operação e gerenciamento de um reservatório podem ser divididas em duas etapas distintas: uma seria com os velhos objetivos, quando da criação do reservatório, e outra com os novos objetivos, traçados devido as diferentes condições ambientais sofridas por todo o sistema, podendo ser essas mudanças oriundo da mudança do clima, alteração da vegetação ou crescimento das populações e demandas.

A operação de um reservatório consiste em determinar as melhores alocações de águas, em cada local de demanda, considerando os influxos ao reservatório. Devem ser previstas, também, as possíveis condições futuras de como poderão ocorrer os influxos.

Brass e Schumann (2003), em seu estudo de caso, concluíram que a demanda requerida de um sistema de reservatórios cresce continuamente e existe a necessidade do gerenciamento dos conflitos das novas condições. A modificação das regras de operação de um reservatório

são apontadas por Drapper (2001), que expõe a necessidade de seu aperfeiçoamento, obtidas através de simulações até atingir um resultado considerado aceitável.

### **2.2.5 Modelo Chuva-vazão**

Uma das áreas da modelagem hidrológica concentra-se em desenvolver programas e métodos para transformar dados de precipitação em dados de vazão na calha de um rio. A dificuldade em elaborar esse tipo de modelo encontra-se nos diversos meios de retenção da água, devido aos vários componentes da superfície aonde ocorre a precipitação. Segundo Becker *et al.* (1999), uma característica paramétrica usada como componente de classificação é o tempo médio de resposta do aumento da vazão de um rio em função da chuva.

O modelo de simulação WEAP (*Water Evolution and Planning System*) trabalha como um modelo chuva  $\times$  vazão. Uma série de parâmetros pode ser utilizada para realizar a modelagem, além dos dados de precipitação. Podem ser utilizadas informações sobre a evaporação, temperatura do ar, velocidade do vento e, principalmente, o tipo de solo que compõe a região onde ocorre a precipitação. Obviamente, a constituição do solo irá determinar o tempo para que a água precipitada atinja a calha do rio, em solos arenosos haverá uma maior infiltração quando comparado a solos compostos de maciços rochosos.

Para a modelagem é necessário fazer algumas observações e análises dos dados de precipitação, pois a chuva é um evento aleatório, e precisa de uma determinação probabilística dos seus acontecimentos.

Segundo Yevjevich (1972), há uma teoria de obtenção de probabilidade de eventos baseada na experimentação e observação. Nunca se sabe a exata probabilidade, mas são feitos cálculos aproximados de frequência relativa. Aproximadamente todas as probabilidades da hidrologia são determinadas pelos estudos dos eventos aleatórios.

### **2.2.6 Indicadores de desempenho**

A análise do sistema de recursos hídricos pode ser avaliada através de indicadores de desempenho, sendo eles: a confiabilidade, a resiliência e a vulnerabilidade. Esses índices foram propostos por Hashimoto *et al.* (1982). Segundo Fowler *et al.* (2003), a utilização dos índices de confiança, resiliência e vulnerabilidade serve para classificar e avaliar a evolução da performance do sistema de recursos hídricos. Segundo Vianna e Lanna (2002), os índices fornecem formas de avaliar os efeitos das regras de operação, e auxilia na avaliação de futuros projetos a serem implantados.

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 são responsáveis por caracterizar o “risco” para operação e planejamento de reservatório.

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 “ $T$ ” 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 “ $l$ ”.

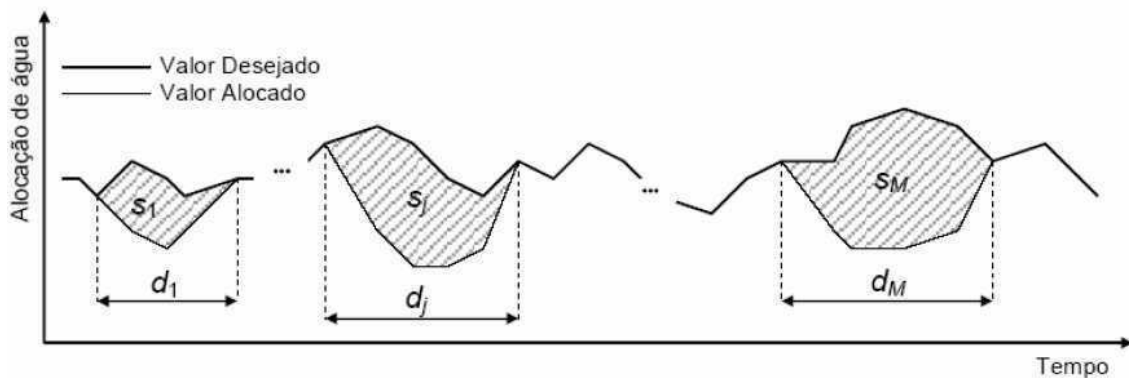


Figura 2.1 – Duração e volume de déficit em período de falha (Santos, 2006)

### 2.2.6.1 Confiabilidade

Confiabilidade ( $Conf_{i,l}$ ) da demanda “ $i$ ” do 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:

$$Conf_{i,l} = \text{prob}\{Q_{t,i,l} \in S\} = \text{prob}\{Q_{t,i,l} = D_{t,i,l}\} = 1 - \frac{NF_{i,l}}{NT} \quad (2.2)$$

Sendo “ $C$ ” um critério adotado para a avaliação da fonte de suprimento de recursos hídricos, para uma série de tempo com valores mensais, sendo o nível do reservatório “ $X_t$ ” estimado no tempo futuro “ $T$ ”, em cada mês teremos uma condição satisfatória “ $S$ ”, ou insatisfatória “ $T$ ”, segundo o critério “ $C$ ” adotado, logo:

$$\text{Se: } X_t \geq C, \quad \text{então } X_t \in S \text{ logo } Z_t = 1$$

ou  $X_t \in I$  logo  $Z_t = 0$

Então o índice de confiança é dado por Fowler *et al.* (2003), como:

$$Conf = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t}{T} \quad (2.3)$$

Simplificando, a confiabilidade pode ser definida também como:

$$Conf = \frac{n^\circ \text{ de valores simulados na zona satisfatória}}{n^\circ \text{ de períodos simulados}}$$

### 2.2.6.2 Resiliência

A resiliência avalia quão rapidamente um 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 “ $t$ ”:

$$res_{i,l} = prob\{Q_{t+1,i,l} \in S | Q_{t,i,l} \in I\} = prob\{Q_{t,i,l} = D_{t,i,l} | Q_{t,i,l} < D_{t,i,l}\} \quad (2.4)$$

Sendo “ $W_t$ ” o valor que indica a transição de um estado insatisfatório “ $I$ ” para um satisfatório “ $S$ ”, Fowler *et al.* (2003) expressa a resiliência, como:

$$res = \frac{\sum_{t=1}^T W_t}{T - \sum_{t=1}^T Z_t} \quad (2.5)$$

E ainda, a resiliência pode ser definida simplesmente como:

$$Res = \frac{n^\circ \text{ de valores simulados na zona insatisfatória seguidos de valores satisfatórios}}{n^\circ \text{ de períodos na zona insatisfatória}}$$

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

### 2.2.6.3 Vulnerabilidade

A Vulnerabilidade ( $Vul_{i,l}$ ) da demanda “ $i$ ” do 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.

$$Vul_{i,l} = \frac{1}{NF_{i,l}} \sum_{t=1}^{NT} \left| \frac{D_{t,i,l} - Q_{t,i,l}}{D_{t,i,l}} \right| \quad (2.6)$$

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

Segundo Fowler *et al.* (2003), a vulnerabilidade pode ser expressa por:

$$Vul = \max \left\{ \sum_{t=j} C - X_t; i = 1, \dots, N \right\} \quad (2.7)$$

### 2.2.6.4 Sustentabilidade

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

$$Sust_{i,l} = Conf_{i,l} \cdot res_{i,l} \cdot [1 - Vul_{i,l}] \quad (2.8)$$

Quando o sistema apresenta reservatórios com capacidades diferentes, o desempenho do sistema é determinado efetuando os cálculos com as somas totais dos numeradores e denominadores.

## CAPITULO III - A BACIA DO RIO GRAMAME

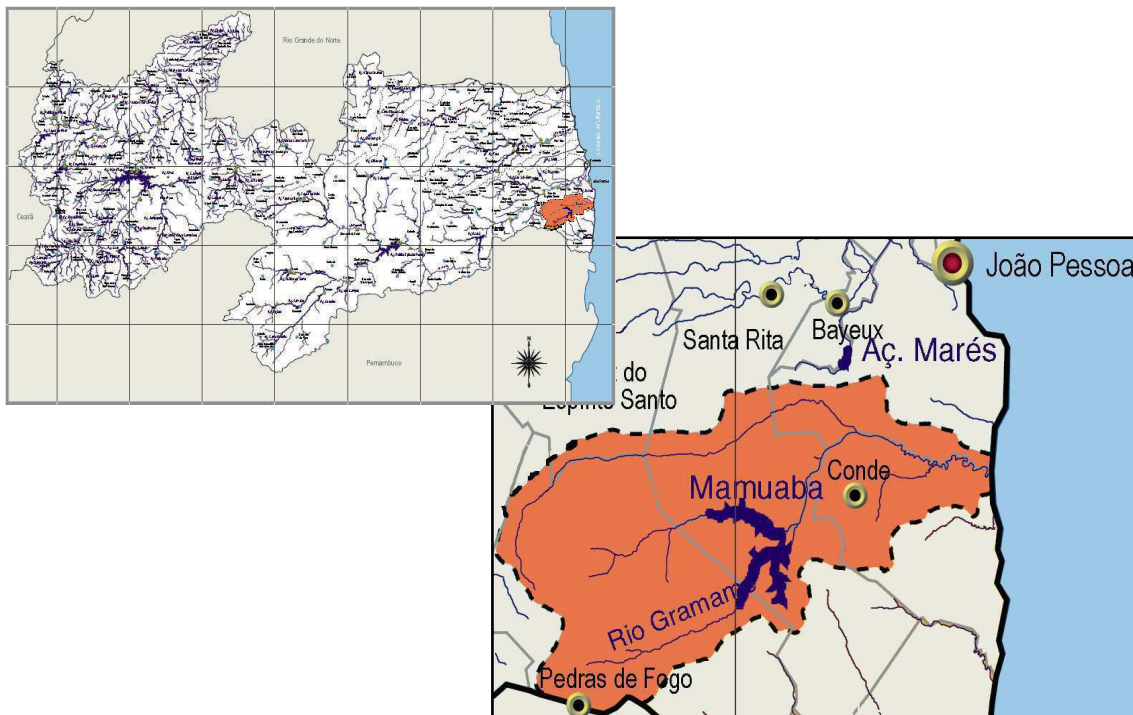
### 3.1 Localização

A Bacia do rio Gramame localiza-se entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste. Situada na região denominada Litoral Sul do Estado da Paraíba, próximo a capital do estado. A área da bacia passa pelos municípios de Alhandra, Conde, Cruz de Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel do Taípu e Pedras de Fogo.

É considerada como uma bacia estratégica, pois ela é responsável pelo abastecimento d'água de cerca de 70% do conglomerado denominado Grande João Pessoa, que, além da capital, fazem parte os municípios de Cabedelo, Bayeux e parte de Santa Rita.

A área de drenagem da bacia é de 589,1 km<sup>2</sup>. O principal curso d'água é o rio Gramame, com extensão de 54,3 km, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa.

A área da bacia hidrográfica do rio Gramame possui um histórico de conflitos, motivados, principalmente, pela questão da degradação ambiental da bacia, em função da extensa área de plantio da cana-de-açúcar e os elevados índices de assoreamento do rio principal, devido as atividades industriais.



**Figura 3.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame**

Fonte: PERH, 2006

### 3.2 Forma da Bacia

Segundo Goldfarb *et al.* (2002), a forma da bacia hidrográfica influencia fortemente o regime do escoamento do curso d'água principal, que é uma resposta da bacia às precipitações que caem sobre a sua área. Como a bacia do Rio Gramame apresenta um formato ligeiramente arredondado, de forma compacta e regular, agregado a outros fatores, pode-se dizer que a bacia não está muito sujeita a enchentes.

A forma de uma bacia hidrográfica é definida pelos parâmetros:

a) o fator de forma (F), determinado pelo quociente entre a área da bacia (A) e o quadrado do comprimento do curso d'água principal ( $L_p$ );

b) o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), expresso pela relação entre o perímetro da bacia (P), e o perímetro de um círculo com a mesma área;

c) Retângulo Equivalente é um elemento auxiliar para fazer comparação entre bacias, introduzido por hidrólogos franceses, com o intuito de melhor comparar a influência das características da bacia sobre o escoamento. Partindo do princípio de que as condições climáticas e de cobertura vegetal são homogêneas, estima-se que o escoamento de uma bacia hidrográfica seja igual a de um retângulo de mesma área, com mesmo coeficiente de compacidade e com repartição hipsométrica análoga. Sendo assim é calculado o lado maior (L) e o lado menor (l) do retângulo equivalente.

Os parâmetros relativos ao formato da bacia hidrográfica do rio Gramame, são apresentados no quadro 3.1, abaixo:

Parâmetros	A (km <sup>2</sup> )	P(km)	$L_p$ (km)	F	$K_c$	L(km)	l(km)
Rio Gramame	589,1	123,3	54,3	0,2	1,43	50,30	11,71

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (2000)

### 3.3 Cobertura vegetal e uso do solo

#### 3.3.1 Cobertura vegetal

Na bacia do rio Gramame, a devastação da cobertura vegetação foi efetuada para atender às indústrias de mineração, panificação e olarias, com fornos a lenha. A especulação imobiliária, com a instalação de loteamentos também tem contribuído para a derrubada da mata nativa. A atividade agrícola, como o cultivo de abacaxi, coco, mandioca, inhame e principalmente a cana-de-açúcar, são atividades econômicas que provocaram o desmatamento. As demais atividades antrópicas, como, as estruturas viárias e implantação de pequenos açudes, também têm contribuição negativa para a cobertura vegetal da bacia.

Segundo Santos *et al.* (2002), a cobertura vegetal apresenta um índice elevado de devastação como conseqüência da exploração desordenada. Os estudos apontam que apenas 12,9% da cobertura vegetal existente seja de mata nativa. Mesmo com a existência de leis como é o caso da Lei nº 4.771/65 que institui o Código Florestal, e a Lei nº7.803/89, que altera a lei anterior e estabelece limites da faixa marginal ao longo de um curso d'água, a cobertura vegetal está resumida a resquícios de mangues, mata atlântica, cerrado e várzeas. O mais grave é a apresentação de apenas 20% de cobertura marginal dos rios, nos comprimentos totais nos cursos d'água da bacia do Rio Gramame.

**Tabela 3.2 – Ocupação e uso do solo em 1998**

TIPO DE OCUPAÇÃO	Área (ha)	Percentual
Mata Atlântica	3.820	6,5%
Cerrado	1.137	1,9%
Vegetação de Várzea	2.074	3,5%
Vegetação de Mangue	613	1,0%
Antropismo	51.266	87,1%
<b>SOMA</b>	<b>58.910</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (2000)

Com relação às áreas de preservação permanente, situadas ao redor do reservatório, observa-se a ausência quase generalizada de vegetação nativa. O principal reservatório, Gramame-Mamuaba, é desprovido da mata nativa que dá suporte de proteção e conservação nas suas margens. Os levantamentos efetuados por Santos *et al.*(2002) indicaram a necessidade legal de revegetação de 320 hectares, de acordo com o disposto na resolução CONAMA n.º 4/85. As áreas marginais dos cursos d'água a serem recuperadas são extensas, no todo são necessárias a reposição de 724,6 km de comprimento total dos cursos d'água. Destes mesmos cursos foram antropizados 579,4 km. As áreas a serem recuperadas são da ordem de 3.476,40 ha distribuídos ao longo dos rios com uma faixa marginal de 30 metros de preservação permanente. Segundo dados do Plano da Bacia, no ano de 1978 a área total antropizada era de 34.682 ha. Em 1998 essa área cresceu e passou para 51.735 ha, um aumento de 49,17% num período de 20 anos.

### 3.3.2 Uso do solo

A ocupação do solo é predominantemente constituída pela cultura da cana-de-açúcar. Com o surgimento das usinas, as áreas canavieiras expandiram-se passando a ocupar também os tabuleiros além dos terraços recentes de fundo de vale.

Segundo Filgueiras *et al.* (2002), dos 14.628 ha irrigados, 9.863 ha são cultivados com a cultura da cana-de-açúcar. Sendo assim, essa cultura torna-se a principal consumidora dos



recursos hídricos na bacia. O autor afirma ainda, que o consumo de água para a cultura da cana-de-açúcar na área mencionada foi de 114,6 milhões de m<sup>3</sup> em um ano, pouco mais de 95% da água total consumida pelas principais culturas na bacia.

O Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame (2000) prevê, um crescimento das demandas para irrigação com valores que variam entre 2,17% a 2,60% ao ano.

Estudos recentes realizados pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) apontam que 568,20 km<sup>2</sup>, cerca de 96,5% da área da bacia é ocupada pela atividade agrícola. Significativamente a economia gira em torno das atividades agrícolas e as águas da bacia são intensamente utilizadas para a irrigação.

### **3.4 Climatologia**

Segundo o Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame um fator preponderante na questão climática sob a zona litorânea paraibana, na qual esta inserida a bacia em estudo, é o relevo. O Planalto da Borborema se constitui em uma verdadeira barreira natural aos ventos dominantes das estações do ano. O planalto praticamente separa a Paraíba em duas regiões climáticas distintas, uma região litorânea baixa, drenada para o leste, e a região ocidental onde existe a depressão sertaneja.

As massas de ar quente e úmido que nascem no atlântico, conhecidas como ventos alísios, migram de leste para oeste, por causa da chamada zona de convergência intertropical, responsável por uma intensa banda de nebulosidade convectiva, capaz de gerar chuva. Os ventos alísios que entram pelo continente ao se depararem com o Planalto da Borborema ascendem no contraforte do Planalto e criam as chamadas chuvas orográficas na porção leste do estado. Pela classificação de Koeppen a região da bacia do rio Gramame é indicada com um clima tropical chuvoso com estação seca no outono. O volume de massa de ar que consegue ultrapassar o Planalto são chamadas de sobras orográficas, são bem mais secas, com pouco potencial para a formação de chuva.

Para caracterização do clima de uma região é necessário ter conhecimento da pressão atmosférica, quantidade de precipitação, as temperaturas do ar ao longo do ano, a insolação, a nebulosidade, a evaporação da água, a umidade relativa e a velocidade e direção do vento, estes parâmetros estão descritos nas Tabelas 3.5 e Tabela 3.7.

### 3.5 Águas subterrâneas

Por se tratar de uma bacia litorânea e que abrange uma área de sete municípios, inclusive a capital do estado, a bacia do rio Gramame tem grande importância. O uso da bacia é em grande parte ocupada pela agricultura 96,5% da área total, o que caracteriza a sua importância econômica e a preocupação que gerou um grande número de estudos já realizados entorno na bacia.

Mesmo estando inserida numa região litorânea onde os fatores climáticos contribuem para a recarga da bacia, entre os anos de 1997 até 1999 ocorreu uma crise no abastecimento d'água na Grande João Pessoa, em decorrência do período de estiagem. Segundo Silva *et al.* (2002), as águas subterrâneas no município foram subitamente valorizadas.

Nesse período de escassez, sendo a qualidade da água bastante aceitável, a CAGEPA (Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba) reativou 18 poços para assegurar o abastecimento.

Um dos problemas causados e apresentados pelo estudo da avaliação e espacialização das características dos poços foi à falta de dados cadastrais e estudos mais aprofundados sobre os aquíferos subterrâneos.

Segundo Lira (2005), durante o período de racionamento a CAGEPA pôs em ação o PRPP (Programa de Recuperação e Perfuração de Poços), iniciado em 1999 na Grande João Pessoa com a finalidade de auxiliar no abastecimento d'água durante o período de racionamento. A ativação dos poços foi necessária devido à quase exaustão dos reservatórios de Gramame, Mamuaba e Marés que apresentavam uma demanda deficitária de 1.150 l/s.

Em média, segundo o estudo realizado por Silva *et al.* (2002), são explorados 33,93 m<sup>3</sup>/h de água em poços de 114,40 m de profundidade. Em alguns poços tem-se a exploração máxima de 409,2 m<sup>3</sup>/h, uma vazão excepcional de um poço reativado em 1999 nos aluviões do rio Gramame com profundidade de 22,60 m.

Atualmente, de acordo com dados colhidos na CAGEPA e planilhas apresentadas por Lira (2005), são utilizados 24 poços para auxiliar no abastecimento de 23 reservatórios dentro da Grande João Pessoa. No Jardim Botânico, na cidade de João Pessoa, existem 15 poços amazonas e 1 poço tubular com bomba submersa, sendo extraído cerca de 114 m<sup>3</sup>/h. Os demais poços são distribuídos nos bairros que compõem o conglomerado das cidades. Ainda segundo a CAGEPA, os poços trabalham de forma praticamente contínua, sendo difícil acompanhar a contribuição dos poços no atendimento a demanda requerida. Atualmente cerca

de 2.167,68 m<sup>3</sup>/h de água são extraídas dos poços para auxiliar no abastecimento de João Pessoa.

Nas demais cidades da bacia hidrográfica também há poços em atividade para o auxílio no abastecimento: Bayeux tem um poço, Santa Rita conta com sete poços, o Conde é abastecido por seis poços, e o distrito de Jacumã funciona com dois poços.

### **3.6 Aspectos ambientais**

Estando inserida numa região de desenvolvimento, a exploração dos recursos naturais para o crescimento econômico tem sido motivo de preocupações para os pesquisadores.

Segundo Gadelha e Diniz (2002), as águas que escoam pela bacia do rio Gramame ainda apresentam-se de boa qualidade, ou seja, potabilizáveis.

As condições ambientais vistas pela perspectiva da poluição por esgoto urbano, resíduos sólidos, efluentes industriais, diluição de agrotóxicos e resíduos de mineração na bacia do rio Gramame foram avaliados de forma superficial, mas com dados indicando gravidade para a “saúde” da bacia.

Ainda, segundo Gadelha e Diniz(2002), o maior problema apresentado é o serviço inadequado de coleta, transporte, tratamento e destino final de esgotos domésticos, despejos industriais e resíduos sólidos.

O uso indiscriminado de agrotóxico e as atividades de mineração contribuem fortemente para a alteração da qualidade da água. Dos sete municípios que fazem uso das águas da bacia do rio Gramame, 89,1% dos habitantes utilizam uma água de boa qualidade.

Atualmente, de acordo com dados colhidos na CAGEPA, quatro municípios que fazem parte da bacia são beneficiados com esgotamento sanitário, João Pessoa, Bayeux, Santa Rita e Cabedelo. Em média 1.778.731 m<sup>3</sup> de esgoto são tratados todos os meses.

Segundo Gadelha e Diniz (2002), apenas 31,6% da população é atendida por rede de esgotamento sanitário. Os dados mais recentes, colhidos na CAGEPA, apontam que esse cenário não modificou em termos percentuais. Em dezembro de 2006 a população atendida era cerca de 37,81%, no entanto, a rede foi ampliada para mais duas cidades.

No mundo moderno um dos maiores problemas para os gestores municipais, são a geração de resíduos sólidos e o destino adequado. De acordo com Gadelha e Diniz (2002), todos os municípios apresentam coleta de lixo, sendo atendida 67,1% da população. O mais grave é o percentual de 19,3% da população dos sete municípios que jogam lixo em terrenos baldios, rios, lago ou mar.

### 3.7 Descrição do reservatório em estudo

O reservatório analisado nesta pesquisa possui característica bem particular, pois se trata de uma estrutura com dois barramentos interligados por um canal unindo a cota de fundo dos açudes. Uma barragem foi construída sobre o rio Gramame e a outra sobre o rio Mamuaba, ambas estão localizadas no município de Alhandra.

Segundo dados colhidos na CAGEPA, historicamente, entre 1995 e 2006, o reservatório Gramame-Mamuaba mantém-se com sua capacidade média em torno de 82%. O nível mínimo foi registrado no ano de escassez de 1999, quando em janeiro daquele ano o reservatório ficou com apenas 14% de sua capacidade total.

#### 3.7.1 Reservatório Gramame

O reservatório Gramame localiza-se na latitude 7°17'34" Sul e longitude 34°57'24" Oeste e teve sua construção concluída em 1990, com a finalidade de abastecimento humano. A barragem é feita de terra com altura de 23,00 m e comprimento de 790,00 m. A área da bacia hidráulica é de 450 ha, possui capacidade máxima de 30.706.000 m<sup>3</sup> e o volume morto foi estipulado em 54.744 m<sup>3</sup>.

O vertedor, em concreto armado, possui 50,00 m de largura e é do tipo *creager*, a soleira fica na cota 35,00 m, sua cota mínima é de 17,00 m e a cota de porão fica a 18,80 m.

A curva Cota x Área x Volume do barramento é apresentada na Tabela 3.3 abaixo:

**Tabela 3.3 – Cota x Área x Volume da barragem Gramame**

Tabelas Cota x Área x Volume Gramame		
Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
17.00	0	0
18.00	26.540	2.000
19.00	92.559	6.000
20.00	192.208	43.000
21.00	322.803	171.000
22.00	482.601	468.000
23.00	670.330	1.000.000
24.00	884.994	1.817.000
25.00	1.125.780	2.979.000
26.00	1.392.004	4.446.000
27.00	1.683.079	6.182.000
28.00	1.998.492	8.306.000
29.00	2.337.788	10.880.000
30.00	2.700.557	12.324.000
31.00	3.086.431	15.225.000

32.00	3.495.073	18.488.000
33.00	3.926.175	22.122.000
34.00	4.379.451	26.098.000
35.00	4.854.636	30.706.000
36.00	5.351.485	35.720.000
37.00	5.869.767	41.232.000
38.00	6.409.265	47.261.000
39.00	6.969.775	53.830.000
40.00	7.551.105	60.987.000

Fonte: CAGEPA (2007)

### 3.7.2 Reservatório Mamuaba

O reservatório Mamuaba localiza-se na latitude 7°16'49" Sul e longitude 34°57'28" Oeste e teve sua construção concluída também em 1990, com a finalidade de abastecimento humano. A barragem é feita de terra com altura de 26,00 m e comprimento de 815,00 m. A área da bacia hidráulica é de 486 ha, possui capacidade máxima de 26.231.000 m<sup>3</sup> e o volume morto é bem maior que o anterior, foi estipulado em 345.000 m<sup>3</sup>.

O vertedor em concreto armado possui 50,00 m de largura e é do tipo *creager*, a soleira fica na cota 35,00 m, sua cota mínima é de 17,00 m e a cota de porão é diferente da anterior, ficando na cota de 20,30 m.

A curva Cota x Área x Volume do barramento é apresentada na Tabela 3.4 abaixo:

**Tabela 3.4 – Cota x Área x Volume da barragem Mamuaba**

Tabelas Cota x Área x Volume Mamuaba		
Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
17.00	-	-
18.00	38.713	0
19.00	115.538	79.000
20.00	219.030	256.000
21.00	344.817	551.000
22.00	490.299	974.000
23.00	653.682	1.537.000
24.00	833.629	2.231.000
25.00	1.029.089	3.143.000
26.00	1.239.208	4.499.000
27.00	1.463.272	5.782.000
28.00	1.700.672	7.148.000
29.00	1.950.880	8.841.000
30.00	2.213.434	10.981.000
31.00	2.487.922	13.421.000
32.00	2.773.976	16.163.000
33.00	3.071.263	19.126.000
34.00	3.379.481	22.394.000

35.00	3.698.352	26.231.000
36.00	4.027.623	30.165.000
37.00	4.367.059	34.532.000
38.00	4.716.441	39.264.000
39.00	5.075.567	44.372.000
40.00	5.444.246	49.866.000

Fonte: CAGEPA (2007)

### 3.7.3 Reservatório Marés

O reservatório Marés, que não está inserido na bacia do rio Gramame, encontra-se localizado no Baixo Paraíba, região terminal do rio Paraíba próximo ao deságüe no mar, na UTM (25 M) latitude 288.950 e longitude 9.208.900, teve sua construção concluída também em 1951, com a finalidade de abastecimento humano. A barragem é feita de terra com altura de 20,00 m. A área da bacia hidráulica é de 26,96 km<sup>2</sup>, possui capacidade máxima de 2.136.637,00 m<sup>3</sup>

A curva Cota x Área x Volume do barramento é apresentada no Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 – Cota x Área x Volume da barragem Marés**

Tabelas Cota x Área x Volume Marés		
Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
8.00	50,520	40,350
10.00	191,440	267,353
12.00	244,880	720,513
14.00	316,240	1,262,073
16.00	375,200	1,952,567
16.50	394,343	2,136,637
18.00	444,560	2,774,314
20.00	498,560	3,713,260

Fonte: AESA (2007)

## 3.8 Características Físico-Hidráulicas

### 3.8.1 Precipitação

Segundo Blazejczyk *et al.* (2005), o estudo do balanço hídrico é importante, principalmente para o desenvolvimento das atividades humanas, pois o homem depende da água para viver e a precipitação é a melhor forma de recarga dos reservatórios e mananciais de água. Muitos ramos de pesquisa realizam estudos para analisar o comportamento das precipitações. A importância da aplicação dos estudos sobre precipitação é fundamental, principalmente para pesquisas em sistemas de abastecimento de água.

Segundo dados do Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame (2000), na bacia existem 18 postos pluviométricos administrados pela CAGEPA. No entanto, com a promulgação do Decreto Estadual nº 26.224 de setembro de 2005, as atribuições de operação e manutenção dos postos passaram a ser da AESA. Por motivos diversos, postos que funcionam desde o ano de 1962 não possuem séries pluviométricas completas, o que certamente reduz a consistência dos dados.

Para efetuar uma análise de consistência dos dados pluviométricos se faz necessário a disponibilidade de dados de precipitação com séries que sejam ininterruptas durante todo o período de observação. No entanto, caso haja algum tipo de interferência nessa série observada, os dados são submetidos a uma série de análises prévias para a detecção de erros e correção antes de sua utilização.

A precipitação na bacia hidrográfica do Rio Gramame apresenta-se, de forma geral, descrita na seção 3.4, ou seja, seguindo orientação de leste para oeste, devido às massas de deslocamento vindas do atlântico, e vai diminuindo o seu gradiente na medida em que segue para o contraforte da Borborema.

Segundo Silva Jr. *et al.* (2002), a precipitação média anual varia de 800 a 1.800 (mm), com a maior concentração do total precipitado nas áreas mais próximas do oceano, sendo notório o alto gradiente da precipitação na direção oeste-leste.

**Tabela 3.6 – Dados de precipitação médias medidas na cidade de João Pessoa**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Precipitação Média (mm)	78	96	206	263	282	302	225	136	65	23	28	37	<b>1740</b>

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (2000)

A precipitação pluviométrica ao longo do tempo também deve ser analisada para o planejamento. Predominantemente no Estado da Paraíba as chuvas ficam concentradas no período que vai do mês de março e estende-se até o mês de agosto. O resto do ano fica sujeito as chuvas ocasionais, sendo os meses de outubro, novembro e dezembro os que apresentam menor índice pluviométrico ao longo do ano.

**Tabela 3.7 – Dados de precipitação mensal da estação do açude Gramame-Mamuaba**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
1995	-	-	-	-	-	330.00	273.00	29.50	13.40	6.60	40.60	-	<b>693.10</b>
1996	11.00	59.00	212.20	346.80	134.00	202.20	155.60	178.20	98.40	34.00	48.80	19.20	<b>1499.40</b>
1997	33.00	170.20	118.80	316.20	270.00	28.60	-	87.20	-	-	-	14.40	<b>1038.40</b>
1998	1.40	12.80	8.60	29.30	62.40	64.10	130.20	148.60	27.30	27.20	15.00	3.40	<b>530.30</b>
1999	6.20	72.40	176.40	18.70	191.70	121.90	123.80	93.30	23.30	62.20	14.50	68.30	<b>972.70</b>
2000	148.10	226.70	49.70	229.40	354.60	474.50	334.50	153.80	329.40	9.80	22.40	124.60	<b>2457.50</b>
2001	26.00	-	94.20	178.40	22.60	265.20	117.40	60.20	47.60	9.80	-	-	<b>821.40</b>
2003	27.00	281.40	254.00	149.80	-	-	-	87.20	69.40	37.60	7.30	95.00	<b>1008.70</b>
2004	402.70	231.40	111.80	138.40	168.60	342.00	335.00	59.40	-	-	-	-	<b>1789.30</b>
2005	4.70	32.40	55.80	88.60	321.20	382.80	97.70	179.20	58.60	17.50	4.60	15.80	<b>1258.90</b>
2006	6.20	32.80	119.10	217.00	114.20	248.80	107.40	88.20	42.80	-	-	-	<b>976.50</b>

Fonte: AESA (2007)

Os estudos realizados com as precipitações apontam uma tendência a repetições de ciclos hidrológicos. Segundo Jr. Linsley *et al.* (1975),

*o intervalo de tempo necessário para o registro de um mesmo volume de precipitação, apontando uma tendência de acréscimo ou decréscimo, é chamado de tempo de retorno médio. Períodos úmidos irregulares tendem a ser balanceados por períodos secos. A regularidade dessas flutuações tem sido repetitivamente investigada. Porém, com exceção de variações sazonais, não persiste uma regularidade de ciclos para nenhuma apreciação da magnitude para ser conclusivamente demonstrada.*

### 3.8.2 Vazão Afluente

A área de drenagem da bacia hidrográfica funciona como um coletor de água precipitada, recolhendo e conduzindo através dos rios tributários, até o rio principal. A bacia em estudo possui uma área de drenagem de 589,1 km<sup>2</sup>. O principal curso d'água é o rio Gramame, com extensão de 54,3 km, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa.

A rede hidrográfica de uma bacia é representada pelo perfil longitudinal do curso principal, pelo coeficiente de confluência, pelo coeficiente de comprimento e pela densidade de drenagem.

Os principais afluentes do Rio Gramame são quatorze, sendo:

Na margem direita: Rio Utinga, Rio Pau Brasil, Riacho Pitanga, Riacho Ibura, Riacho Piabuçu, Rio Água Boa.

Na margem esquerda: Riacho Santa Cruz, Riacho da Quinzada, Riacho do Bezerra, Riacho do Angelim, Riacho Botamonte, Rio Mamuaba, Rio Camaço e Rio Mumbaba.

Pelo perfil longitudinal é representado pelo gráfico de comprimento da sua nascente ao deságüe versos a cota do leito. Segundo o Plano Diretor da Bacia esse índice apresenta um trecho de 6 km do alto curso com declividade de 11,6 m/km, o médio curso com 25 km de





### 3.8.3 Evaporação

A estação climatológica de João Pessoa se encontra na região próxima à bacia hidrográfica do Rio Gramame. Dados climatológicos são úteis quando comparados a valores padrões ou normais (Normais climatológicas), por isso são estabelecidos as normais padrão através de cálculo das médias, obedecendo a critérios da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

**Tabela 3.8 – Dados climatológicos médios medidos na estação da cidade de João Pessoa**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Evaporação do Tanque Classe A (mm)	158,9	139,5	118,0	89,2	86,8	94,8	95,2	68,7	152,3	149,0	91,0	70,1	<b>1.313,5</b>
Velocidade do Vento (m/s)	3,6	3,6	3,1	3,0	2,9	3,1	3,5	3,7	4,0	3,9	3,8	3,8	<b>3,4</b>
Insolação (h)	244,2	219,1	208,9	181,5	193,9	180,7	148,5	211,7	235,1	266,2	272,7	228,9	<b>2.591,4</b>
Precipitação Média (mm)	78	96	206	263	282	302	225	136	65	23	28	37	<b>1740</b>
Temperatura média do ar (°C)	25,8	25,2	28,2	25,5	27,0	26,2	23,7	25,4	27,5	27,7	27,0	24,1	<b>26,1</b>

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (2000)

As informações contidas na Tabela 3.8 demonstram as principais características climatológicas que fazem do litoral paraibano um atrativo turístico. Com temperaturas variando entre a média máxima de 29,3°C e a mínima de 21,9°C e tendo a incidência solar direta, com poucas nuvens, praticamente o ano inteiro, João Pessoa possui qualidades para o atrativo turístico de sol e mar.

Os dados de evaporação foram medidos regularmente na estação climatológica de João Pessoa, os valores médios mensais foram obtidos multiplicando os valores apresentados na Tabela 3.9, pelo coeficiente do tanque, para a obtenção de uma estimativa de evapotranspiração potencial.

Existem também dados de evaporação do tanque classe “A” na estação de tratamento de Marés. Esta estação não faz parte da bacia do Rio Gramame, porém o reservatório de Marés recebe água do reservatório Gramame-Mamuaba e faz parte do sistema de abastecimento da Grande João Pessoa.

**Tabela 3.9 – Evaporação (mm) do tanque classe “A” medida na estação de tratamento de Marés**

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
149,6	134,8	149,7	129,6	117,1	107,6	116,2	123,1	136,5	157,3	154,7	149,3

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (2000)

### 3.9 Atendimento as Demandas

A bacia hidrográfica é consensualmente utilizada como sendo a unidade territorial para fazer a análise entre demanda e oferta de água. As demandas da bacia caracterizam-se por serem prioritariamente para uso de abastecimento humano e, em segundo plano, ficam o atendimento a irrigação e a indústria.

O Plano da Bacia do Gramame considera três usos principais: abastecimento urbano, irrigação e exportação para atendimento a barragem de Marés que também abastece parte da cidade de João Pessoa. Segundo o Plano da Bacia, 59% das demandas de água são para abastecimento humano e os outros 41% para irrigação.

Oficialmente são registrados na AESA, a montante da barragem, 18 (dezoito) pontos de captação para atendimento as demandas, sendo os dois maiores pertencentes à CAGEPA, captando 2.469,97 l/s, uma média anual de 94,69% de toda a água que é retirado com a concessão de outorga. Os outros 5,31% ficam distribuídos para as outorgas de irrigação, uma média de 138,39 l/s ao mês.

#### 3.9.1 Abastecimento urbano

O abastecimento urbano da bacia hidrográfica do Rio Gramame atende a cinco municípios e um distrito: João Pessoa com 683.280 habitantes, Bayeux com 96.124 habitantes, Cabedelo com 53.017 habitantes, Pedras de Fogo com 26.282 habitantes e o Conde com 20.864 habitantes. O distrito de Várzea Nova pertence ao município de Santa Rita e sua população estimada é de 12.403 habitantes. A contagem populacional tem como bases dados do IBGE 2006-2007.

Atualmente a demanda de João Pessoa é de 2.165,10 l/s atendidas através dos mananciais Gramame-Mamuaba, Marés e poços. A cidade de Bayeux e o distrito de Várzea Nova são atendidos com 180,20 l/s e 32,80 l/s, respectivamente, com águas vindas de Marés e Mumbaba. A demanda da cidade de Pedras de Fogo é de 17,80 l/s sendo captadas em uma barragem de nível no Alto Gramame. A cidade de Cabedelo tem uma demanda de 140,20 l/s atendida diretamente do Gramame-Mamuaba. A cidade do Conde tem demanda de 23,20 l/s atendida por poços, dentro da bacia hidrográfica a montante das barragens.

As demandas para abastecimento urbano foram determinadas através de dados disponíveis em planilhas de controle interno utilizadas pela CAGEPA no ano de 2007.

### 3.9.2 Irrigação

Dados do Plano Diretor da Bacia apontam o grande número de pequenos irrigantes com plantio de culturas diversas, predominantemente inhame, feijão, batata-doce e capim. Segundo o plano, estima-se para o ano de 2005 uma demanda de  $32,39 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, equivalente a 1.026,40 l/s.

Segundo Filgueiras e Silva (2002), as demandas totais de água para uso de irrigação eram de 120.483.650 m<sup>3</sup>, isso para o ano de 1996, que equivale a 3.817,98 l/s. O estudo partiu de dados estatísticos do censo agropecuário da Paraíba, em seguida apurou-se as áreas irrigadas com as principais culturas, proporcional a área de cada município que compõe a bacia. Com dados da SUDENE verificou-se o período de maior necessidade de uso de água para a irrigação. Com base na necessidade hídrica da planta, dados de evapotranspiração potencial e pela fórmula de Hargreaves foram obtidos os valores de demanda para irrigação.

A fazenda GIASA, que atua desde 1971 no setor sucroalcooleiro, produz cerca de 90 milhões de litros de álcool por ano e possui três outorgas concedidas pela AESA. As demandas são requeridas entre os meses de agosto até fevereiro, período de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar. Para o ano de 2007 a outorga é de 28,52 l/s. A soma das outras outorgas para irrigação, concedidas pela AESA para o mesmo ano são de 461,29 l/s.

### 3.9.3 Indústria

Segundo Campos *et al.* (2002), existem cadastradas 81 indústrias de pequeno, médio e grande porte dentro da bacia do Gramame. Foi realizada uma pesquisa de campo para o levantamento de dados em cada um dos estabelecimentos.

De acordo com o levantamento feito por Campos *et al.* (2002), o consumo anual de água das indústrias, com fornecimento feito pela CAGEPA é de 223.649 m<sup>3</sup> (7,09 l/s). Algumas indústrias fazem uso de poços ou retiram água diretamente dos rios próximos ao parque industrial, o estudo realizado aponta que 6.852.811 m<sup>3</sup> (217,16 l/s) são consumidos pelas indústrias diretamente.

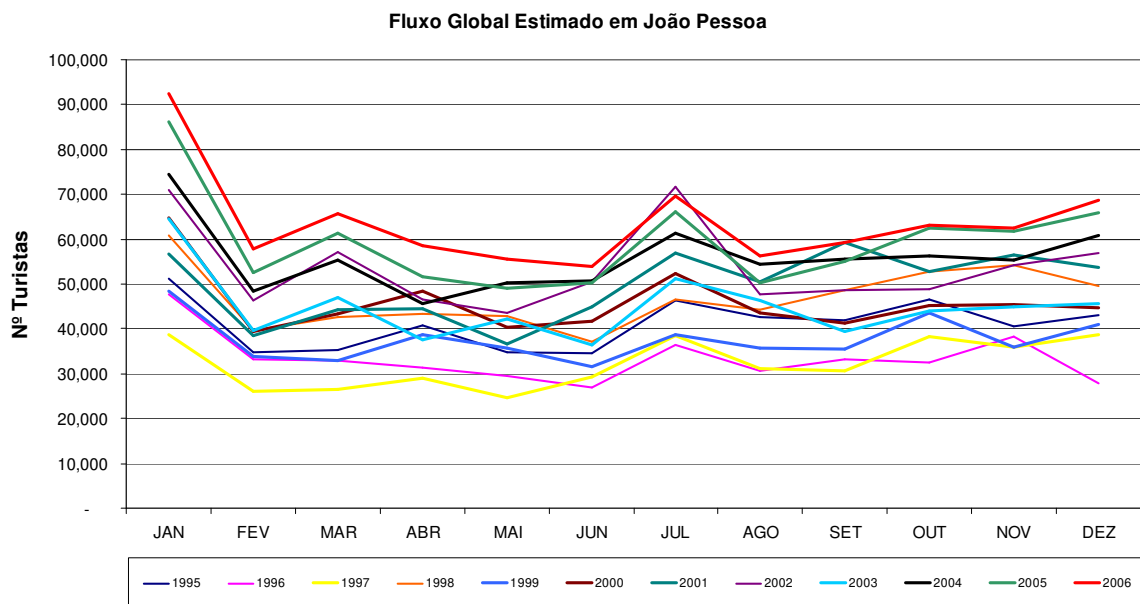
## CAPITULO IV – CONTEXTO TURÍSTICO

### 4.1 Atividade turística na Grande João Pessoa

A exploração da atividade turística é capaz de movimentar os três principais setores econômicos: primário, secundário e terciário. A exploração do turismo como atividade econômica envolve desde a fabricação de um eletrodoméstico para equipar as pousadas e hotéis, até o vendedor ambulante que oferece artesanato ao turista, todos são envolvidos na exploração do turismo como atividade econômica.

A água é o principal recurso natural utilizado nas atividades humanas, sendo um recurso renovável finito, e, em caso de escassez ou sendo seu fornecimento limitado, existe uma maior probabilidade na limitação do desenvolvimento econômico de uma região.

O contexto turístico atual do Estado da Paraíba, segundo relatórios da Empresa Paraibana de Turismo S/A (PBTUR), apresenta um cenário de crescimento positivo desde 2004. Nos últimos quatro anos o turismo chegou a apresentar um crescimento de 7,22%. Estima-se que a cidade de João Pessoa tenha recebido 763.487 turistas no ano de 2006, conforme dados apresentados na Figura 4.1.



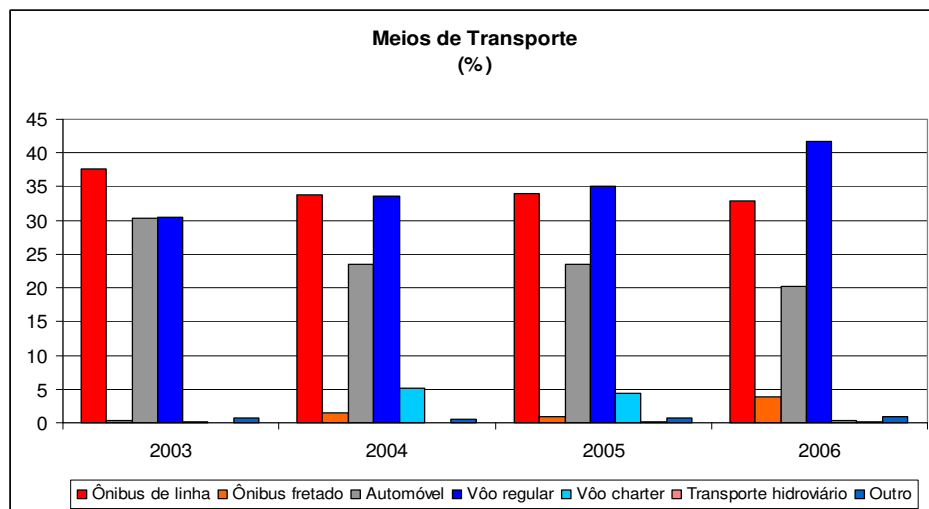
**Figura 4.1 – Fluxo global estimado de turistas em João Pessoa**  
Fonte: PBTUR - 2007

Uma observação curiosa é que no ano de 1999 o fluxo turístico apresentou um decréscimo de 19,65%, o maior registrado pela PBTUR. Neste mesmo ano a região acabava de passar por um colapso no atendimento as demandas d'água devido ao período de escassez.

Segundo dados do Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável (PDITS) (2004), a taxa média de crescimento anual do fluxo turístico entre 1993 e 2002 foi de aproximadamente 4,40% .

Desde 2003 a PBTUR vem realizando pesquisas sobre o perfil do turista que vem a Paraíba. Utilizando dados desta fonte de pesquisa, pode-se concluir que, nos últimos anos, a principal porta de acesso ao estado é o aeroporto Castro Pinto, principalmente através de vôos regulares. O terminal rodoviário de João Pessoa apresenta-se em segundo lugar, na classificação percentual.

Os relatórios dos órgãos governamentais atribuíam a queda do número de desembarques no terminal rodoviário ao aumento do poder aquisitivo da população e a aquisição de carros para realizar as viagens de férias. No entanto, não é o resultado demonstrado na pesquisa, apontada pela Figura 4.2, que mostra a queda do uso do automóvel como meio de transporte para chegar a João Pessoa.

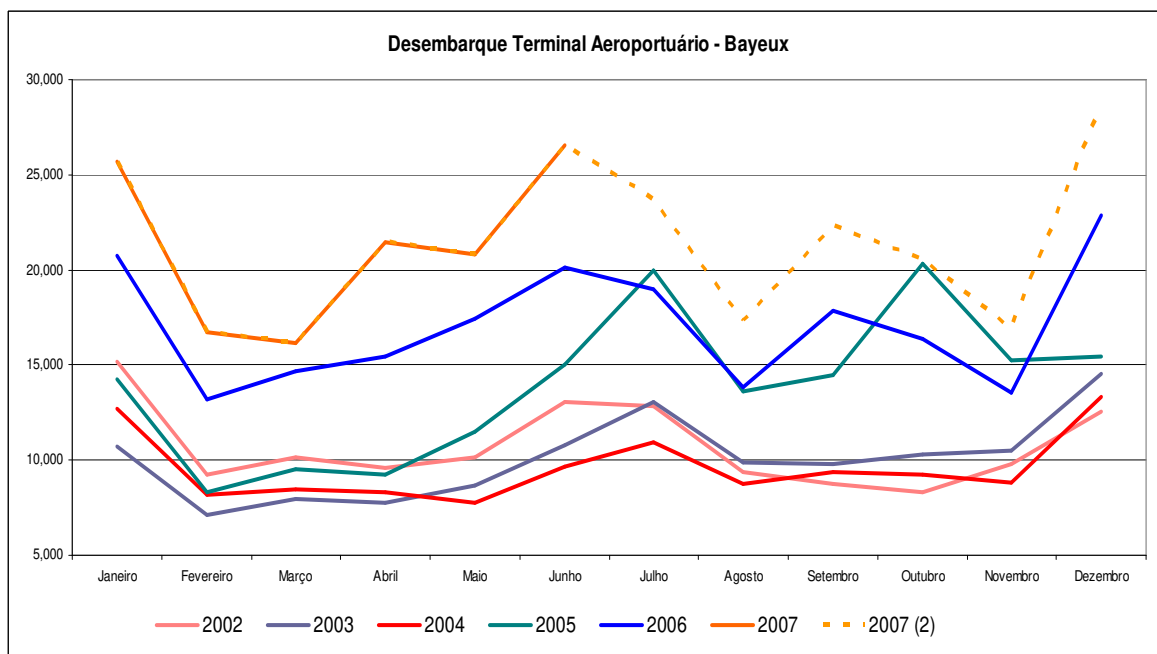


**Figura 4.2 – Percentual dos meios de transporte utilizados pelos turistas para chegar a Paraíba**

Fonte: PBTUR - 2007

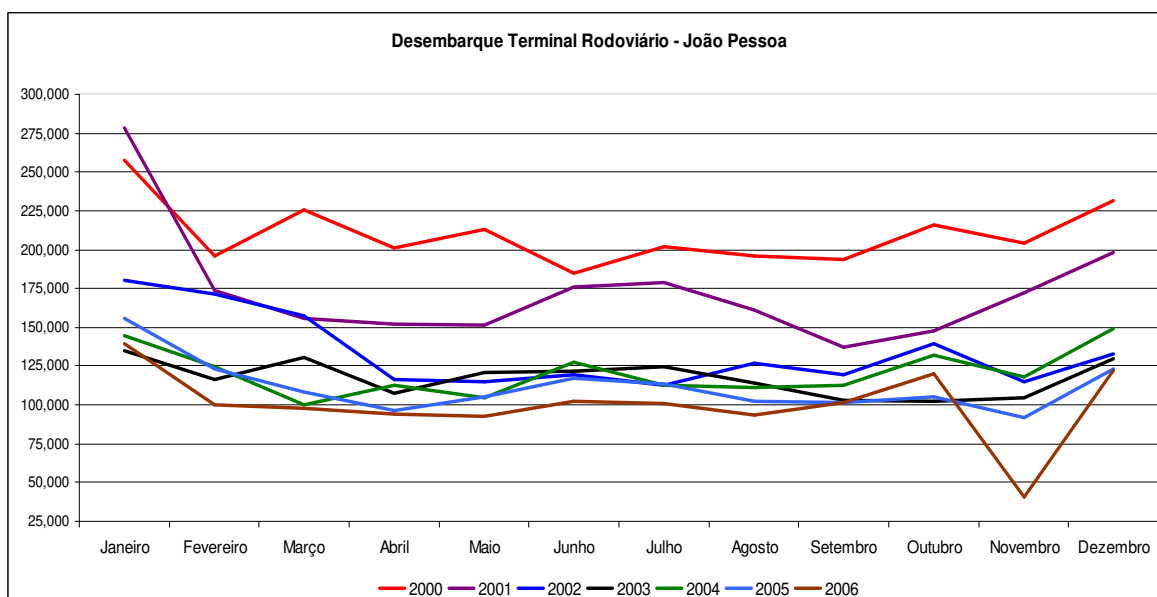
O fluxo de desembarque no aeroporto Castro Pinto, na cidade de Bayeux, vem crescendo rapidamente. De acordo com os relatórios da PBTUR, um dos principais fatores para o aumento do fluxo de passageiros é a estabilidade econômica do país, que nos últimos anos tem se comportado de maneira estável. A melhoria da situação financeira do brasileiro e a vontade de conhecer novos lugares, têm feito com que o nordeste brasileiro seja um dos melhores roteiros turísticos dos últimos anos, às altas temperaturas, sol o ano inteiro e mar de águas mornas são os principais atrativos turísticos.

A Figura 4.3 aponta o crescimento, ano após ano, no terminal de desembarque do fluxo de passageiros no aeroporto Castro Pinto, no município de Bayeux, que atende a Grande João Pessoa e é a principal porta de acesso de turista ao Estado da Paraíba.



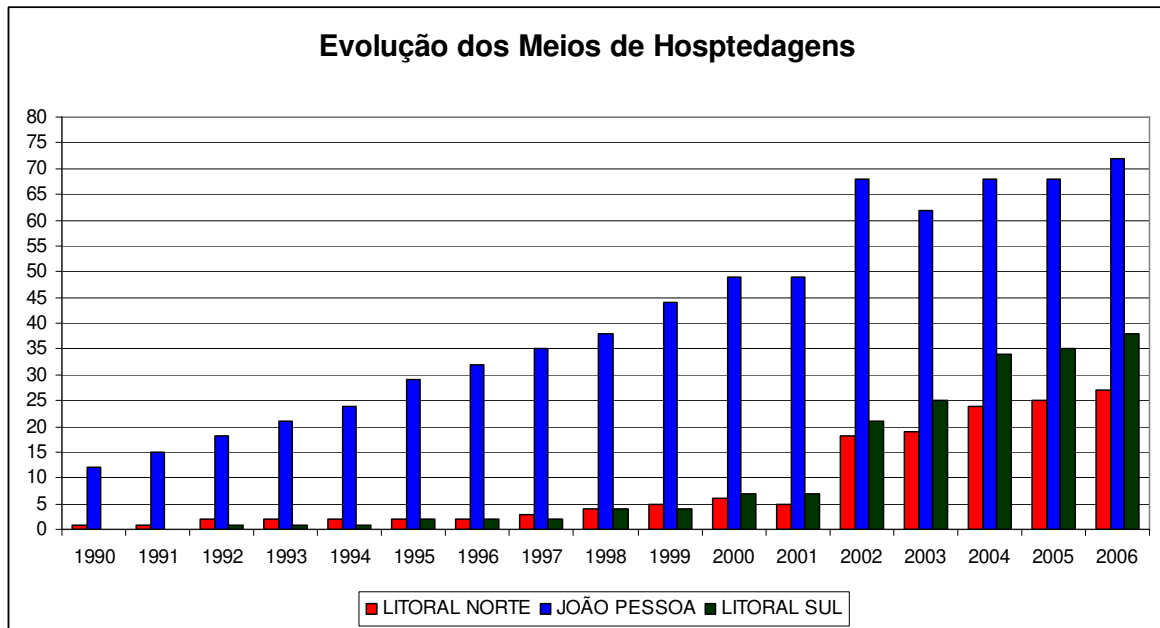
**Figura 4.3 – Evolução do fluxo de passageiros no terminal de desembarque no aeroporto Castro Pinto**  
Fonte: INFRAERO - 2007

Os resultados demonstrados na Figura 4.4, apontam a evolução do fluxo de passageiros no terminal de desembarque na Rodoviária de João Pessoa. Observa-se a diminuição, ano após ano, do número de passageiros.



**Figura 4.4 – Evolução do fluxo de passageiros no terminal de desembarque na rodoviária**  
Fonte: DER - 2007

Os estudos de pesquisa realizados pela PBTUR com relação aos Meios de Hospedagens (MH) na zona litorânea da Paraíba, destacando a capital, apontam uma evolução crescente na quantidade de hotéis, *flats*, pousadas e hospedarias. Desde 2002, como demonstra a Figura 4.5, a quantidade cresceu rapidamente, com destaque especial para os meios de hospedagem que foram criados no litoral sul a partir de 2002, superando a casa das dezenas.

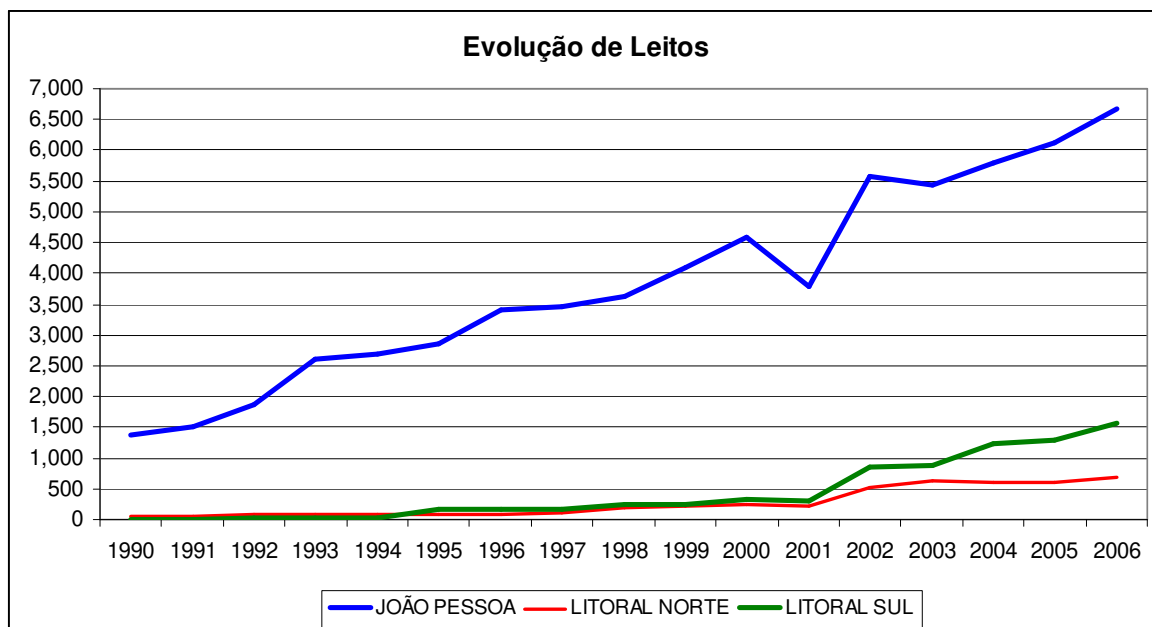


**Figura 4.5 – Evolução da quantidade dos meios de hospedagem no litoral paraibano**  
Fonte: PBTUR - 2007

A disponibilidade de leitos também cresceu rapidamente, principalmente no litoral sul do estado. A evolução apresentada na Figura 4.6 aponta no ano de 1992, apenas 38 leitos disponíveis, e em 2006, com significativos 1.562 leitos disponíveis para uso dos turistas.

O impacto causado pela ocupação desses leitos deve ser avaliado, principalmente pelos órgãos gestores do turismo e do meio ambiente. Como era de se esperar, o desenvolvimento da região situada ao litoral sul da Paraíba apresenta um índice de crescimento econômico, também, bastante significativo. A indústria hoteleira investe maciçamente na região com forte presença de grupos internacionais e o governo subsidia com a concessão de baixos impostos.

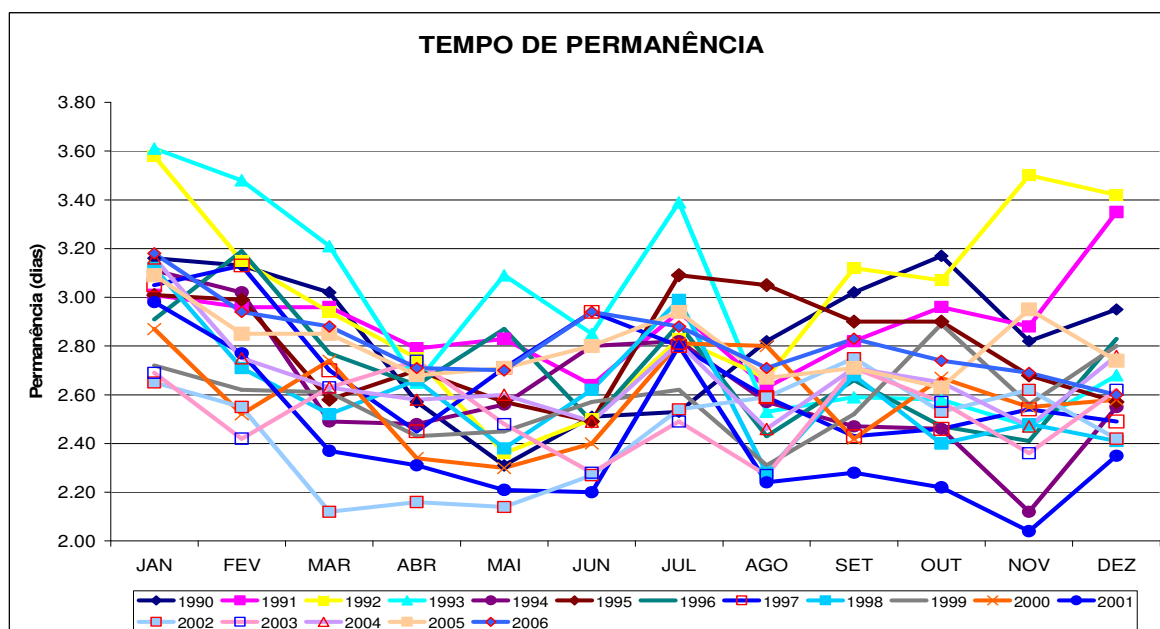




**Figura 4.6 – Evolução da quantidade de leitos disponíveis**

Fonte: PBTUR - 2007

O crescimento no número de meios de hospedagem e na quantidade de leito não foi determinante para o aumento do tempo de permanência do turista na Paraíba. Os dados apresentados pela PBTUR, obtidos através do Boletim de Ocupação Hoteleira (BOH) demonstram que a permanência média anual dos hospedes entre 1990 até 2006 é de 2,70 dias.



**Figura 4.7 – Tempo de Permanência Média nas Unidades Hoteleiras**

Fonte: PBTUR - 2007

## CAPITULO V - O MODELO DE SIMULAÇÃO WEAP

---

### 5.1 Descrição do Modelo

O modelo de simulação *Water Evolution and Planning System* (WEAP) foi desenvolvido pela *Stockholm Environmental Institute* no ano de 2005. Segundo Le Roy (2005), o sistema opera principalmente com base no balanço hídrico e é aplicado tanto para os sistemas de demanda municipal como rural.

Segundo Levite *et al.*(2002), o usuário representa o sistema em termos de suas várias fontes de provisão, por exemplo: rios, águas subterrâneas, reservatórios, retiradas, demandas de água e exigências de ecossistema.

A utilização do modelo WEAP, geralmente segue os seguintes passos:

- Definição do problema, com estabelecimento de prazo, limite de espaço, sistema de recursos hídricos, componentes do sistema e a configuração das partes do sistema;
- Estabelecimento do contexto atual, qual a situação momentânea da demanda de água, recursos e fontes de suprimento do sistema;
- Construção de cenários baseados em diferentes visões de tendências do futuro, com conflitos, desenvolvimento tecnológico e outros fatores que afetam diretamente a demanda da provisão hídrica;
- Avaliação dos cenários com base nos critérios de adequação dos recursos hídricos, custos, benefícios e impactos ambientais.

Segundo Le Roy (2005), o WEAP pode ser utilizado como um modelo de chuva-vazão ou usado como um modelo de alocação de água para simular a demanda de água de um reservatório.

Segundo Levite *et al.*(2002), o modelo permite a criação de vários cenários de crescimento populacional e desenvolvimento econômico da região em estudo. O WEAP, também apresenta um quadro de quais são as exigências impostas pelo ecossistema, como: tipo solo, taxa de evaporação, volume precipitado, velocidade do vento.

As áreas irrigadas também podem ser trabalhadas no modelo. É possível determinar as conseqüências na alteração técnica da irrigação nos padrões de colheita.

O modelo é capaz de dar suporte na gestão dos recursos hídricos, considerando os vários tipos de demanda de uma bacia hidrográfica, compatibilizando os cenários de anos secos e chuvosos, acompanhando o desenvolvimento e crescimento sócio-econômico da bacia hidrográfica e apresentando uma evolução do planejamento dos recursos hídricos de uma determinada região.

O modelo WEAP é uma ferramenta de apoio à decisão para a gestão de recursos hídricos, utilizada pela *International Water Management Institute* (IWMI), pode ser considerado, quando comparado a outros, um modelo compreensível, direto, de fácil utilização e por apresentar bons resultados devido à quantidade de informações requeridas.

## 5.2 O Modelo de Operação

O modelo de simulação WEAP trabalha com base num esquema de visualização do tipo Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde são inseridos os elementos referentes aos recursos hídricos, os locais de demanda de água e os pontos de retorno para escoamento da água.

Segundo Zhao *et al* (2004), o formato SIG tem sido aplicado no campo do Sistema de Gerenciamento de Informações (SGI) para recursos hídricos apenas nos últimos anos. Um dos maiores problemas apontado pelo autor é a integração dos modelos de simulação dos recursos hídricos com o SGI.

A operação com o modelo de simulação WEAP inicia-se com a adoção de um ano de referência, e demais informações sobre o sistema de recursos hídricos, demografia e dados hidrológicos da região. A esse conjunto de dados é chamado cenário de referência. Em seguida são lançados no modelo de simulação os cenários de projeção, estabelecidos a partir do cenário de referência. Nestes cenários são inseridos dados de crescimento demográfico, criação de novos locais de demanda, ou mudanças nas regras de operação dos reservatórios, ou, ainda, qualquer tipo de interferências no sistema de recursos hídricos que possam causar conflitos no fornecimento de água, que são chamados de cenários de desenvolvimento futuro.

O programa WEAP realiza uma simulação através da evolução do sistema hidrológico. O modelo utiliza todo o ciclo evolutivo da água: a precipitação sobre a bacia de contribuição e o conseqüente incremento de vazão no rio, o nível de acumulação de água no reservatório, às retiradas para os locais de demandas e os retornos das águas dos locais de demandas para os rios. Em cada uma dessas etapas utilizadas no modelo de simulação é inserida uma série de informações referente a essa parte específica que compõe o sistema.

O modelo de simulação WEAP, permite observar o atendimento às demandas de acordo com o sistema e infra-estrutura hídricas disponíveis. Para isso são necessárias informações sobre o sistema, como: vazões máximas, perdas nas transmissões e reservatório.

O modelo simula o balanço hídrico dos recursos naturais de água, tanto das águas superficiais quanto subterrâneas, desde que sejam implantadas as entradas no aquífero.

### 5.3 Algoritmos utilizados

Diversos tipos de componentes do sistema hídrico estão incorporados no WEAP. Nos próximos sub-itens estão descritos detalhes de cada tipo de componente e alguns cálculos definidos pelo sistema de alocação de água e de armazenamento no tempo.

#### 5.3.1 Locais de demanda

Pode ser definido como sendo o lugar onde a água é utilizada, ou seja, a parte física do sistema onde há o consumo dos recursos hídricos.

Sendo (DL) o local de demanda, o cálculo da demanda mensal é feito através da Equação 5.1.

$$DemandaMensal_{DL} = VariaçãoMensal_{DL} \times AjusteDemandaAnual_{DL} \quad (5.1)$$

Onde:

*Demanda Mensal* é o volume total de água necessária em cada mês no local onde é demandado água [m<sup>3</sup>];

*Variação Mensal* é a fração de água consumida no mês, considerando o consumo anual 100% [%];

*Ajuste Demanda Anual* é o produto do número total de indivíduos consumidores e o uso *per capita* de água no ano [m<sup>3</sup>].

Os valores utilizados para a Variação Mensal, neste trabalho, pode ser observados na Tabela 7.5, e o Ajuste Demanda Anual na Tabela 7.1.

As demandas requeridas são calculadas pela Equação 5.2 abaixo:

$$\text{SuprimentoRequeridoMensalmente}_{DL} = \frac{\text{DemandaMensal}_{DL}}{(1 - \text{Perdas}_{DL})} \quad (5.2)$$

Onde:

*SuprimentoRequeridoMensalmente* é o volume total de água retirado do reservatório a cada mês [m<sup>3</sup>];

*Perdas* é o percentual de água desperdiçada durante a distribuição nos locais de demanda [%].

### 5.3.2 Bacia hidrográfica

Para o modelo WEAP, a bacia hidrográfica é o local com área definida onde são especificados os processos referentes a precipitação e sua contribuição, a vazão gerada no rio e a evapotranspiração.

A vazão gerada no rio foi obtida através de um modelo interno do WEAP que considera a, área de cobertura (AC), unidade hídrica (UH) de acordo com a Equação 5.3:

$$\text{PrecipitaçãoDisponívelPelaET}_{AC} = \text{Precip}_{UH} \times \text{Área}_{AC} \times 10^{-5} \times \text{PrecipitaçãoEfetiva}_{AC} \quad (5.3)$$

Onde:

*PrecipitaçãoDisponívelPelaET* é a quantidade de água retida em função do tipo de solo utilizada pelas vegetação da bacia hidrográfica [m<sup>3</sup>/mês];

*Precip* é a quantidade de água precipitada sobre a bacia hidrográfica [mm];

*Área* é a região onde ocorre a precipitação [ha];

*PrecipitaçãoEfetiva* é o percentual de água que pode ser utilizado pelas plantas para evapotranspiração [%].

A evapotranspiração potencial é determinada a partir de coeficientes de retenção da água (Kc) e em função, também, do tamanho da área onde ocorre a precipitação pluviométrica, expresso pela Equação 5.4:

$$\text{ETpotencial}_{AC} = \text{ETreferencia}_{UH} \times Kc_{LC} \times \text{Área}_{LC} \times 10^{-5} \quad (5.4)$$

Onde:

*ETpotencial* é a quantidade de água transferida para atmosfera através da vegetação [m<sup>3</sup>/mês];

$ET_{referencia}$  é a evaporação medida por método empírico [mm];  
 $Kc$  coeficiente de retenção de água [-].

O vazão gerada é determinado pela Equação 5.5:

$$Runoff_{AC} = Max(0, PrecipitaçãoDisponívelPelaET_{AC} - ET_{potencial_{AC}}) + (Precip_{AC} \times (1 - PrecipitaçãoEfetiva_{AC})) \quad (5.5)$$

Onde:

$Runoff$  é a quantidade de água que corre pela superfície do solo até acumular-se nas calhas dos rios [m<sup>3</sup>/mês];

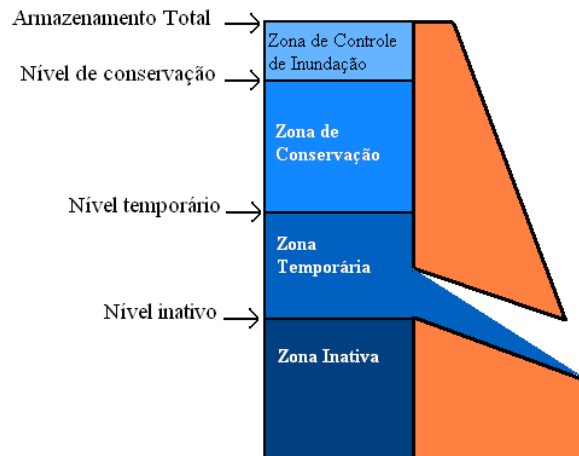
### 5.3.3 Rios

No WEAP os rios podem ser conectados uns com os outros, possibilitando a visualização do rio principal e dos seus tributários. As vazões geradas no modelo dependem diretamente dos parâmetros inseridos para caracterizar a bacia hidrográfica.

A vazão é determinada por trechos, ou seja, a variação do fluxo do rio pode mudar em um determinado trecho devido à influência de um rio tributário, ou em função da retirada ou do retorno de água devido a um local de demanda.

### 5.3.4 Reservatórios

Os reservatórios, no modelo de simulação WEAP, acumulam água de acordo com as vazões geradas nos rios. É necessária a implantação de parâmetros físicos como: a capacidade total de armazenamento, a curva cota  $x$  volume e a taxa de evaporação. A operação do reservatório, também deve ser lançada dentro do modelo em termos das zonas de operação do reservatório, também pré-definidas e mostradas na Figura 5.1.



**Figura 5.1 – Representação das zonas de operação do reservatório no WEAP**

O WEAP pode liberar água, segundo regras de operação pré-definidas, para manter o fluxo no rio a jusante do reservatório, desde que o nível de água esteja acima da zona inativa. Sempre que o modelo registra níveis na zona temporária, a simulação pode ser realizada com um coeficiente ( $K_b$ ) que diminui o envio de água para as demandas. Quando isso ocorre, o envio mensal não pode exceder o volume de água acumulado na zona temporária. Este cálculo é feito através da equação 5.6:

$$ADD_{Res} = ZC_{Res} + ZT_{Res} + K_b \times ZT_{Res} \quad (5.6)$$

Onde:

$ADD$  é o Armazenamento Disponível para Distribuição [ $m^3$ ];

$ZC$  é o volume armazenado na Zona de Controle [ $m^3$ ];

$ZT$  é o volume armazenado na Zona Temporária [ $m^3$ ];

$ZI$  é o volume armazenado na Zona Inativa [ $m^3$ ];

$Res$  é o índice que aponta reservatório.

Toda água disponível na zona de controle, ou acima, na zona de conservação é destinada para os locais de demanda, sempre que for requerida essa água. Quando o nível do reservatório entra na zona temporária, as distribuições para os locais de demanda começam a ser restritas devido ao coeficiente da zona temporária ( $K_b$ ).

O volume de água armazenado no reservatório no final de um período é determinado pelo volume disponível na zona de operação adicionando os afluxos de água através do rio e subtraindo as retiradas das demandas feitas no período.

### **5.3.5 Águas subterrâneas**

As águas subterrâneas podem ser utilizadas no WEAP. O modelo permite que os aquíferos sejam recarregados diretamente pela bacia hidrográfica ou podem ser considerados isolados do sistema superficial.

### **5.3.6 Tubos de transmissão**

É a representação da parte física que distribui a água dos reservatórios para os locais de demandas. Devem ser inseridas suas características físicas como a vazão máxima permitida pelo tubo e as perdas na transmissão.

### **5.3.7 Retorno**

A água que não é consumida nos locais de demanda pode ser direcionada por drenagem para as calhas dos rios.



## 5.4 Fluxograma do Modelo

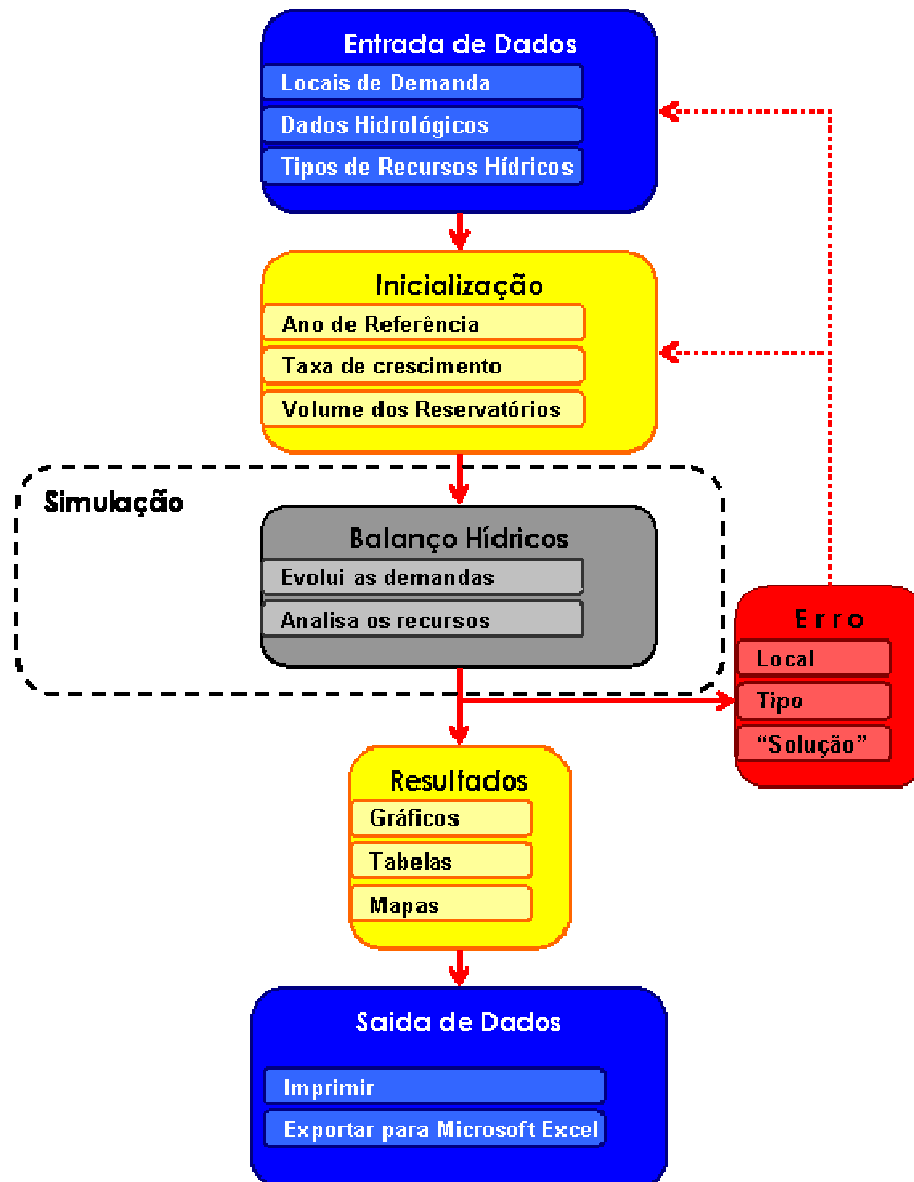


Figura 5.2 – Fluxograma do modelo de simulação WEAP

## 5.5 Entrada de Dados

As informações e dados obtidos junto aos órgãos responsáveis pelos recursos hídricos e do turismo, como: CAGEPA, AESA e PBTUR, foram compilados, tratados e reordenados de acordo com a necessidade para o lançamento das informações adequadas no programa de simulação.

O modelo necessita de uma série de informações:

- Ano base para início dos cálculos;
- Tempo estimado para realização dos cálculos;

- Passo/período para a realização da simulação;
- Locais de demanda, com: crescimento anual, distribuição da água ao longo do ano; variação mensal do uso e uso consuntivo;
- Regime hidrológico dos períodos avaliados;
- Recursos e suprimentos de água: ligação entre local da demanda e reservatório, rios, aquíferos subterrâneos e ligações de retorno;
- Reservatórios, com: capacidade de armazenamento, taxa de evaporação, regime de operação mensal, volume máximo, volume morto.

Para cada um dos itens acima citados, há um desdobramento de outras informações necessárias e complementares para que o programa apresente os resultados de forma satisfatória.

A Figura 5.3 apresenta em destaque a árvore de dados do modelo de simulação WEAP.

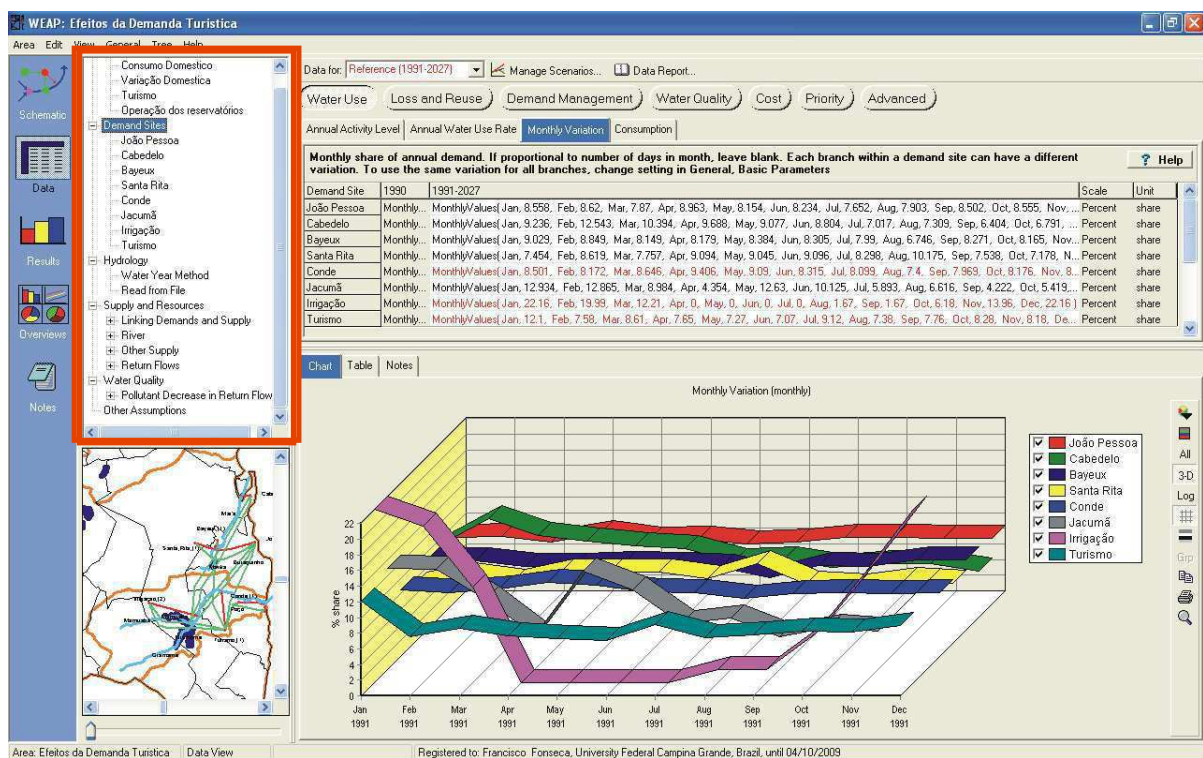


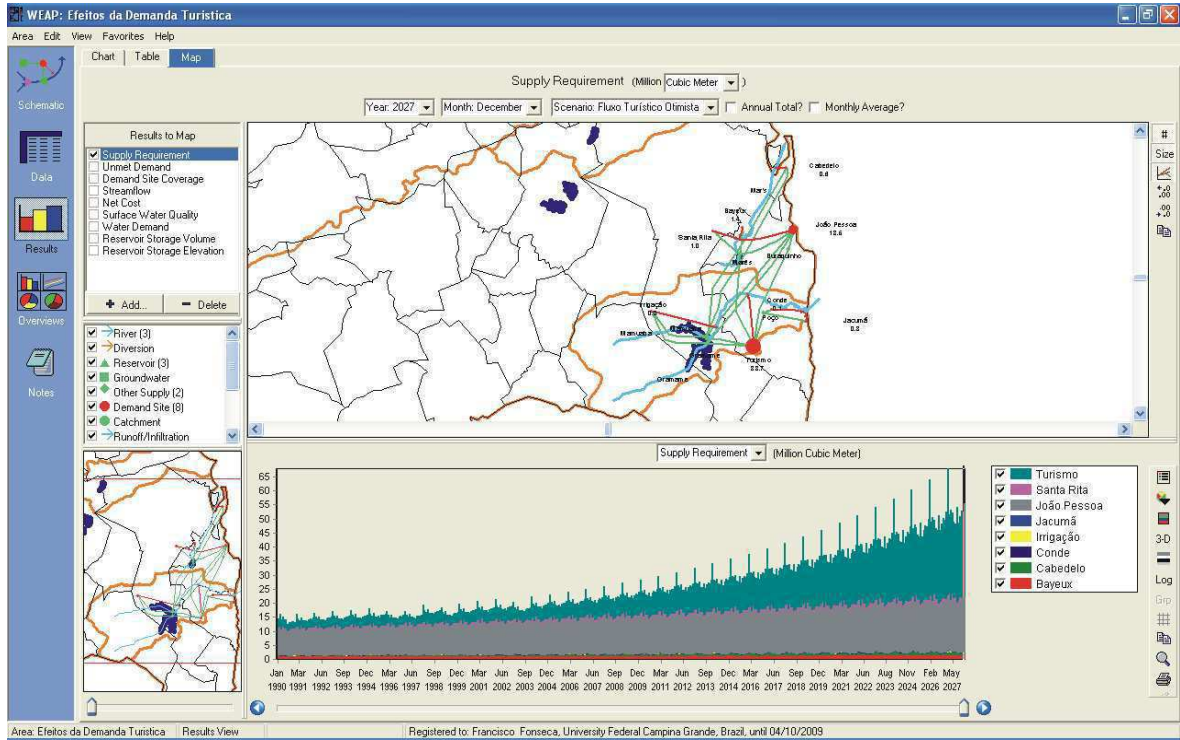
Figura 5.3 – Tela de dados do modelo de simulação WEAP

## 5.6 Apresentação dos Resultados

Os resultados do modelo de simulação WEAP podem ser apresentados através de gráficos, mapas esquemáticos e tabelas que podem ser exportadas para uma planilha do *Microsoft Excel*. O WEAP pode apresentar os seguintes resultados:

- 1 Demandas: demandas de água, suprimento requerido, suprimento distribuído, demanda complementar, cobertura, local de saída e entrada de recurso, vazão requerida de montante, vazão requerida de montante distribuída, vazão complementar requerida de montante e vazão de cobertura.
- 2 Suprimentos e recursos: afluxo por tipo de recurso, saída por tipo de recurso, vazão do rio, velocidade e profundidade do rio, entrada e saída de aquíferos subterrâneos, volume armazenado e elevação dos reservatórios, entradas e saídas dos reservatórios, geração de energia elétrica, vazão nos tubos de abastecimento e drenagem.
- 3 Qualidade da água: superfície de qualidade da água, geração de poluição, carga de poluição, vazão poluidora de entrada e saída em plantas de tratamento, drenagem em plantas de tratamento e fonte de qualidade da água.
- 4 Financeiro: taxa de custo, taxa de valor presente e média de custo da água
- 5 Entrada de dados: nível de atividade anual do uso da água, distribuição anual, perdas, gerenciamento da demanda, custos, etc.

Um exemplo de como o modelo de simulação WEAP pode apresentar seus resultados está representado na Figura 5.4, que mostra um resultado através de um esquema gráfico por mapa em formato SIG em consonância com um gráfico de barras ao longo do período analisado com acompanhamento mensal.



**Figura 5.4 – Tela de resultados apresentado no modelo WEAP**

## **CAPÍTULO VI - METODOLOGIA DA PESQUISA**

---

### **6.1 Metodologia**

Para a realização deste trabalho utilizou-se a técnica de planejamento apontada por Holanda (1985), dividindo a pesquisa em duas etapas distintas: diagnóstico e prognóstico. O diagnóstico do desenvolvimento turístico e do sistema de recursos hídricos da Grande João Pessoa foi apresentado nos capítulos anteriores. A fase de prognóstico é apresentada neste e no próximo capítulo, através da elaboração de cenários hidrológicos e de crescimento da demanda, possibilitando determinar situações de previsões futuras de determinados eventos, no contexto hidrológico, no contexto das evoluções turísticas e sua repercussão sob os recursos hídricos que abastece boa parte do litoral sul do Estado da Paraíba.

A elaboração dos cenários serve para avaliar o comportamento nas situações mais extremas dos contextos formulados. Devido às incertezas do comportamento hidrológico e meteorológico, os cenários são desenvolvidos para abranger os mais diferentes comportamentos que possam vir a ocorrer no futuro.

Para o estudo com modelos hidrológicos faz-se necessário a adoção de cenários de previsões futuras. A elaboração dos cenários contempla as idéias colocadas por Mendes (1992), considerando, no início do estudo, um estado de referencia da situação atual, com um vasto conjunto de informações sobre o sistema de recursos hídricos. As projeções futuras devem considerar o crescimento das demandas, e analisar o atendimento à essas demandas com algumas das diversas possibilidades dos cenários hidrológicos.

Confrontar o diagnóstico da situação atual com as projeções das demandas futuras sob a injunção de cenários hidrológicos desfavoráveis é uma das atividades do âmbito do planejamento, apontado por Campo (2003) para previsão de disponibilidade das demandas de água para as populações futuras. Dentro deste contexto, a principal intenção é apresentar métodos alternativos para a estrutura hídrica de uma determinada região, melhorando a qualidade e a disponibilidade hídrica para o atendimento às demandas requeridas no futuro.

### **6.2 Cenários Hidrológicos**

O modelo de simulação WEAP permite a utilização de cinco tipos de regimes hidrológicos, em cada ano existe um percentual de precipitação em relação à média. Então,

com base nessa possibilidade do modelo de simulação, um ano considerado com precipitação normal assume valor unitário.

#### 6.2.1 Cenário Hidrológico Muito Seco

O cenário hidrológico muito seco é aquele onde os índices de precipitação são bem inferiores à média anual. É um cenário bastante negativo.

Um período muito seco para a região da bacia do rio Gramame foi registrado em 1998, quando os pluviômetros registraram apenas 530,30 mm, o que permite usar um valor de 0,44 no modelo de simulação devido o registro de 43,93% da média.

#### 6.2.2 Cenário Hidrológico Seco

O cenário hidrológico seco é aquele onde há pouca precipitação, o volume de água acumulada nos reservatórios, conseqüentemente, é menor, aumentando assim, a possibilidade de um colapso no sistema hídrico da região.

Períodos secos também são comuns na região. Em 1999, por exemplo, choveu cerca de 972,70 mm, 80,59% da média, essa entrada no modelo de simulação tem um peso de 0,81.

#### 6.2.3 Cenário Hidrológico Normal

O cenário hidrológico normal é aquele onde as condições hidrológicas apresentam-se de forma similar as condições climáticas da região, sendo representado pela precipitação média. Para a região esta média fica em torno de 1.200 mm, logo, no modelo de simulação WEAP terá peso 1,00.

#### 6.2.4 Cenário Hidrológico Chuvoso

O cenário hidrológico chuvoso é aquele onde há precipitação um pouco acima da média, os volumes de águas acumuladas nos reservatório podem até verterem sobre as barragens. É o que se pode dizer ser um cenário positivo nesta bacia, uma vez que não se tem problemas relacionados a inundações.

Para o período chuvoso o peso no modelo de simulação é de 1,24, como o que foi registrado em 1996 quando a precipitação foi de 1.499,40 mm, 24,22% a mais que a média.

### 6.2.5 Cenário Hidrológico Muito Chuvoso

O cenário hidrológico muito chuvoso apresenta índices bem superiores a média. Nesse cenário os volumes de águas acumuladas nos reservatório chegam a verter sobre as barragens. É um cenário que não permitida qualquer ameaça ao abastecimento ao longo do período. Adotou-se um peso 2,0 no modelo de simulação, um valor extraordinário como o registrado no ano de 2000, quando choveu aproximadamente 2.457,50 mm, 200,03% do valor da média.

## 6.3 Cenários de Crescimento das Demandas

Os cenários de crescimento das demandas serão determinados de acordo com a taxa de crescimento de cada setor, podendo, ser positivo e, também, negativo. A construção desses cenários é necessária para fornecer um diagnóstico mais realístico para o futuro, com a finalidade de delinear as medidas que seriam cabíveis para as ações futuras.

As demandas de abastecimento urbano, irrigação e indústria deverão ser avaliadas em conjunto com o aumento da demanda d'água necessárias para atendimento à população turística. Esses crescimentos deverão ser enquadrados dentro dos três cenários hidrológicos.

### 6.3.1 Cenário de Crescimento Pessimista

Neste cenário é considerada uma situação de crescimento do fluxo turístico de 1,20% a.a., uma condição de desenvolvimento nada favorável ao crescimento dessa atividade econômica. O valor adotado é um dos menores índices já registrados de crescimento do fluxo turístico na Paraíba, segundo dados da PBTUR no ano de 2004, entre os meses de setembro e outubro.

### 6.3.2 Cenário de Crescimento Normal

Para a este cenário é utilizado um índice de crescimento normal, com taxa de 3,63% a.a., de acordo com a média dos crescimentos registrados pela PBTUR entre os anos de 1995 até 2006.

### 6.3.3 Cenário de Crescimento Otimista

Para este cenário adota-se a hipótese de que o crescimento do fluxo turístico tenha um desenvolvimento superior. Entre os anos de 2000 e 2001, o crescimento do fluxo turístico apresentou uma taxa de evolução maior que o planejamento dos órgãos e projetos desenvolvidos pelo Governo do Estado. Nesse período o número de turistas pulou de 550.242 para 594.923, um índice bastante significativo quando comparado aos demais. Portanto, a escolha da taxa de crescimento deste cenário tem como referencia o valor do crescimento durante esse período de excepcional observação, com uma taxa de 8,12% a.a.

## 6.4 Desenvolvimento do Contexto Turístico

O principal foco deste estudo é avaliar os efeitos do fluxo turístico sobre a demanda de água. Pela visão do planejamento turístico, este estudo é uma análise de planejamento diferencial apontada por Angeli (1996), isto porque fica evidente a necessidade de se fazer uma previsão da quantidade de água alocada para atender o turista e as comunidades locais, além de iniciar uma discussão sobre os impactos da demanda turística em uma ampla área litorânea, com exploração econômica intensificada no verão. Por essa visão, podemos perceber as possíveis implicações para a comunidade local e qual a capacidade de suporte oferecida pela infra-estrutura hídrica da região.

Segundo Lemos e Souza (2007), a existência de praias, lagos, reservatórios, cachoeiras, rios, estâncias hidrominerais, geralmente está associada a locais de grandes belezas cênicas, rica biodiversidade e, naturalmente, grande sensibilidade ao desenvolvimento e à presença antrópica intensa.

A contextualização do desenvolvimento da atividade turística dentro da bacia do rio Gramame não causa impacto diretamente no lago formado pelos reservatórios Gramame e Mamuaba. Não se trata de um uso da água de forma recreativa, mas do uso através do consumo para as atividades cotidianas, como banho, lavagem de roupas e cozimento de alimentos. É a demanda por uso da água propriamente dita.

No modelo de simulação WEAP o consumo mensal é lançado em forma de percentual, desse modo o modelo impõe que ao final de doze meses a soma do volume de água distribuídos ao longo do ano seja de 100%, como pode ser observado na equação 5.1. Outro detalhe peculiar do modelo de simulação utilizado para esse estudo, é que para a obtenção do consumo mensal de água o modelo exige que seja atribuído o rateio anual de



água para cada local de demanda. A demanda turística possui caráter sazonal, sendo possível observar esse fenômeno através da Figura 4.7. Diferente da população nativa que faz uso da água o mês inteiro, a população turística permanece apenas alguns dias. A média de permanência do turista obtida junto a PBTUR, e apresentadas na Tabela 6.1, foi lançada no modelo de simulação, junto ao rateio anual de uso da água. Esse incremento matemático é de fundamental importância para que não ocorra acúmulo de valores dentro das demandas mensais a serem alocadas dos reservatórios dentro do modelo de simulação WEAP. Sendo assim, a população turística possui um consumo de água diferente das populações das cidades.

A permanência do turista, no caso específico, não passa de alguns dias, ou seja, deve ser considerado o tempo de permanência do turista dentro da cidade, o que necessariamente implica em um menor consumo de água. Deste modo, fez-se uso do tempo de permanência dos turistas na Grande João Pessoa, bem como do consumo de água no período da permanência.

**Tabela 6.1 – Permanência média (dias por mês)**

<b>ANO</b>	<b>Permanência (dias)</b>	<b>Permanência (mês)</b>
1990	2.83	0.094
1991	2.89	0.096
1992	2.99	0.099
1993	2.92	0.097
1994	2.62	0.087
1995	2.79	0.093
1996	2.71	0.090
1997	2.69	0.089
1998	2.60	0.086
1999	2.59	0.086
2000	2.58	0.086
2001	2.39	0.079
2002	2.44	0.081
2003	2.52	0.084
2004	2.67	0.089
2005	2.80	0.093
2006	2.81	0.093
<b>MÉDIA</b>	<b>2.70</b>	<b>0.090</b>

Fonte: PBTUR (2007)

As informações deste estudo podem auxiliar os órgãos públicos responsáveis e as instituições privadas na tomada de decisão quanto à necessidade de investimentos ou de infraestrutura necessárias ao atendimento hídrico.

## 6.5 Condições Iniciais

O ano base para início da simulação foi 1991. As demandas foram estipuladas a partir da contagem populacional do IBGE e suas respectivas taxas de crescimento populacional até o ano de 2007. A população turística do ano de 1991 foi obtida por cálculo, utilizando o método de regressão linear. Os valores são apontados na Tabela 6.2 abaixo:

**Tabela 6.2 – Contagem populacional segundo IBGE em 1991 e taxa de crescimento observado entre 1991 e 2007**

Local	João Pessoa	Cabedelo	Bayeux	Santa Rita	Conde	Jacumã	Turismo
<b>População</b>	497.600	29.052	77.491	94.913	10.391	6.462	408.971
<b>Taxa de crescimento</b>	1.92%	3.41%	1.13%	1.64%	4.16%	5.25%	Var (%)

Os reservatórios foram considerados como tendo volume inicial igual a 74,93% de sua capacidade. Este valor foi obtido pela determinação da média dos volumes registrados no mês de janeiro entre os anos de 1995 até o ano de 2006. De acordo com os cálculos efetuados em função dos dados obtidos na CAGEPA, a média do armazenamento no reservatório Gramame-Mamuaba comporta-se conforme a Tabela 6.3.

**Tabela 6.3 – Volumes mensais do açude Gramame-Mamuaba em termos de sua capacidade máxima**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Acumulo do Reservatório	74,93%	75,07%	76,31%	80,18%	83,38%	89,53%	89,97%	89,09%	88,00%	84,19%	81,42%	77,16%

Média do armazenamento entre 1995 a 2006 (Fonte: CAGEPA)

O modelo de simulação WEAP necessita que sejam implantados todos os dados referentes ao sistema de abastecimento das demandas. A base dessas informações, implantadas no modelo, foi apresentada na Seção 3.9.1 e está de acordo com os dados fornecidos pela CAGEPA. Para a cidade de João Pessoa, o abastecimento é feito através dos reservatórios de Gramame-Mamuaba, Marés e poços do manancial do Buraquinho. A cidade de Cabedelo recebe água do Reservatório Gramame-Mamuaba e poços. A cidade do Conde e o distrito de Jacumã são atendidos por poços tubulares. A cidade de Bayers é abastecida por poços e pelo reservatório de Marés. A cidade de Santa Rita tem boa parte do seu sistema abastecido pelo rio Tibirizinho e poços.

## 6.6 Aplicação do Modelo de Simulação

Tendo estabelecidos os cenários hidrológicos, os cenários para o crescimento das demandas e as condições de volumes iniciais dos reservatórios, aplicou-se o modelo de

simulação para a realização do estudo sobre e seus impactos no balanço hídrico do sistema em estudo.

Um dos principais objetivos específicos desta pesquisa é verificar o comportamento dos reservatórios em estudo em condições extremamente adversas, ou seja, principalmente quando forem submetidos aos cenários de crescimento turístico otimista, quando as demandas hídricas são maiores, e com cenário hidrológico seco ou muito seco, quando a possibilidade de recarga dos aquíferos são menores.

As combinações de cenários foram elaboradas para apresentar um diagnóstico dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Gramame. A possibilidade de combinações dos cenários hidrológicos e dos cenários de crescimento da demanda são a base para o estudo e estabelecimento de possíveis ações para a melhoria do desempenho do sistema de recursos hídricos superficiais que abastecem a Grande João Pessoa.

A aplicação do modelo teve duas fases distintas e complementares: uma de calibração e outra de simulação. Para a calibração do modelo de simulação utilizou-se o intervalo de tempo entre os anos de 1991 até 2006, observando os dados de consumo mensal de água produzido pela CAGEPA, e as series hidrológicas observada durante esse período. Para isso foi necessário lançar os dados de contagem populacional do IBGE, utilizando como ano de referência 1991, bem como, foram lançadas informações sobre o crescimento populacional, o modelo de simulação desenvolve a contagem populacional até o ano em que se deseja obter os resultados, no caso da calibração do estudo, até o ano de 2006. Estes dados são apresentados na Tabela 6.1. O uso consuntivo da água foi determinado a partir dos dados do volume faturado pelo esgoto, fornecidos pela CAGEPA, e estão representados na Tabela 6.4:

**Tabela 6.4 – Uso Consuntivo nos locais de demanda**

Local de Demanda	Uso Consuntivo da água (%)
João Pessoa	77,00
Cabedelo	85,00
Bayeux	85,00
Santa Rita	85,00
Conde	85,00
Jacumã	85,00
Irrigação	95,00
Turismo	77,00

Cálculos obtidos através dos anos de 1991 e 2006 (Fonte: CAGEPA)

Os cenários hidrológicos observados, utilizados na calibração do modelo, foram obtidos na AESA, e tiveram como base a precipitação anual de chuvas. Os dados foram observados entre os anos de 1990 e 2006, e estão representados na Tabela 6.5:

**Tabela 6.5 - Cenários hidrológicos observados entre 1990 e 2006**

<b>ANO</b>	<b>Cenário Hidrológico</b>	<b>ANO</b>	<b>Cenário Hidrológico</b>
1990	Normal	1999	Muito Seco
1991	Normal	2000	Normal
1992	Chuvoso	2001	Chuvoso
1993	Normal	2002	Normal
1994	Normal	2003	Seco
1995	Chuvoso	2004	Chuvoso
1996	Muito Chuvoso	2005	Normal
1997	Normal	2006	Chuvoso
1998	Seco		

(Fonte: AESA, 2007)

Outros dados lançados no modelo, referentes ao consumo de recursos hídricos, são apresentado no capítulo 7, como: *per capita*, perdas físicas do sistema e variação mensal do consumo.

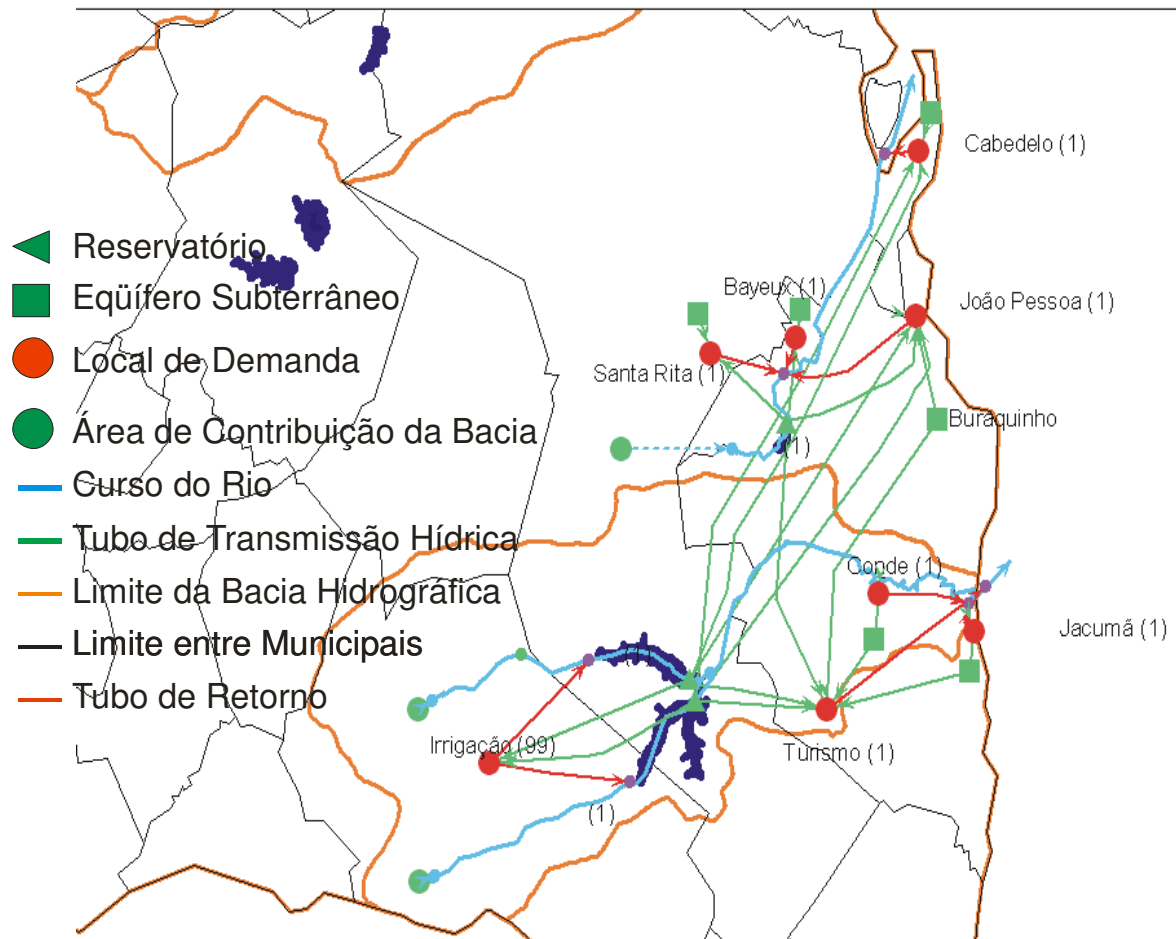
Ainda na fase de calibração, foram lançados dados referentes à parte física do sistema de abastecimento de água. Além dos dados apresentados no capítulo 3, referentes à bacia hidrográfica e os reservatório, foram lançados dados sobre os tubos de transmissão hídrica aos locais de demanda, no modelo de simulação WEAP, essa transmissão é chamada de *link*, e na Tabela 6.6 são apresentados os diâmetros dos tubos de transmissão utilizados pela CAGEPA para abastecer os locais de demanda. A implantação dessa informação no modelo de simulação, serve para limitar a quantidade de água aos locais de demanda em função da máxima vazão permitida pelo tubo. Os valores apresentados foram obtidas na CAGEPA, por meio de um projeto básico de automação do sistema de abastecimento de João Pessoa, com uma planta geral do projeto.

**Tabela 6.6 – Diâmetro dos links de transmissão do sistema de abastecimento da Grande João Pessoa**

<i>Link</i>	<b>Ø (mm)</b>
Reservatório Gramame-Mamuaba para Cabedelo	400
Poço de Cabedelo para Cabedelo	150
Reservatório Gramame-Mamuaba para João Pessoa	1000
Reservatório de Marés para João Pessoa	350
Poços do Buraquinho para João Pessoa	400
Reservatório Marés para Bayeux	400
Poço de Bayeux para Bayeux	150
Reservatório de Marés para Santa Rita	350
Poços de Santa Rita para Santa Rita	500
Poços do Conde para Conde	300
Poços de Jacumã para Jacumã	300
Reservatório Gramame-Mamuaba para Irrigação	350

(Fonte: CAGEPA, 2007)

A Figura 6.1 mostra o esquema elaborado no modelo de simulação WEAP para o estudo dos efeitos da demanda turística na bacia do Rio Gramame. Uma característica do modelo de simulação utilizado é a possibilidade de visualização do sistema de recursos hídricos através da localização geográfica, com o uso de SIG.



**Figura 6.1** Erro! A opção de imagem deve ser a primeira opção de formatação. – **Visualização do esquema da bacia do Rio Gramame no modelo de simulação WEAP**

### 6.6.1 Calibração e Sensibilidade

O procedimento de calibração de um modelo hidrológico é frequentemente realizado para verificar a condição de acerto dos dados observados.

Segundo Le Roy (2005) *apud* Klemes (1986), a tradicional aproximação de valores medidos e calculados é a chamada calibração do modelo. A confrontação de valores medidos num período específico, dito  $\Delta T_1$ , com valores simulados para esse mesmo período, dentro de um modelo, serve para habilitar o uso do modelo em outro período futuro, chamado  $\Delta T_2$ .

Para o estudo da Bacia do Rio Gramame, dados de demanda de água foram obtidos junto a CAGEPA, foram utilizados os dados de micromedição, ou seja, o consumo medido de porta em porta pela concessionária de água do estado. O intervalo de tempo utilizado foi entre

janeiro de 1991 e dezembro de 2006, um período de 15 anos para o ajuste dos parâmetros do modelo de simulação WEAP.

O desempenho do modelo pode ser observado pela comparação dos valores simulados e os valores observados. Segundo Le Roy (2005), uma equação muito usada para validação é a dos mínimos quadrados, comparando os resultados observados com os resultados calculados, representada por:

$$MQ = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{OBS_i} - Q_{SIM_i})^2}{N} \quad (6.1)$$

Onde “ $Q_{obs}$ ” e “ $Q_{sim}$ ” são as vazões observadas e simuladas no tempo “ $i$ ”, respectivamente e “ $N$ ” é o número total de observações.

Outro critério é o coeficiente de Nash, que é apontado por Blanco *et al.* (2007), e é conhecido com  $R^2$ , que leva em consideração a vazão média observada, de acordo com a Equação 6.2, representada por:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{OBS_i} - Q_{SIM_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{OBS_i} - \bar{Q})^2} \quad (6.2)$$

Onde,  $\bar{Q}$  é a vazão média observada.

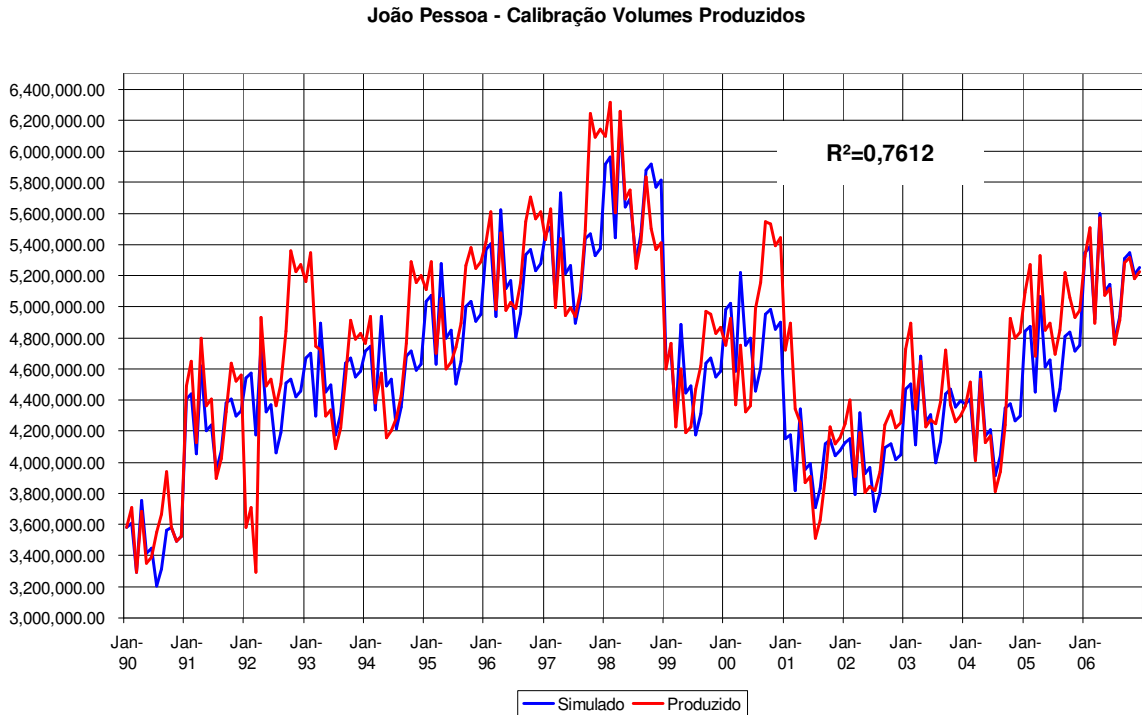
Embora este trabalho trate de um estudo utilizando um modelo de simulação, aparentemente com relativa simplicidade, foi necessária a implantação de uma série de parâmetros e tratamentos matemáticos para o ajuste do modelo.

A análise de sensibilidade do modelo foi feita a partir dos dados de micromedições trimestrais, entre os anos de 1990 até 2005, fornecidos pela CAGEPA, em forma de planilha. Apenas no ano de 2006 é que a concessionária de água têm resultados de micromedições mensais. Com base na distribuição percentual mensal do ano de 2006, ou seja, o volume de água do mês em razão do volume total do ano, sendo os valores transformados em percentuais, fez-se a distribuição mensal para os anos anteriores de forma simples.

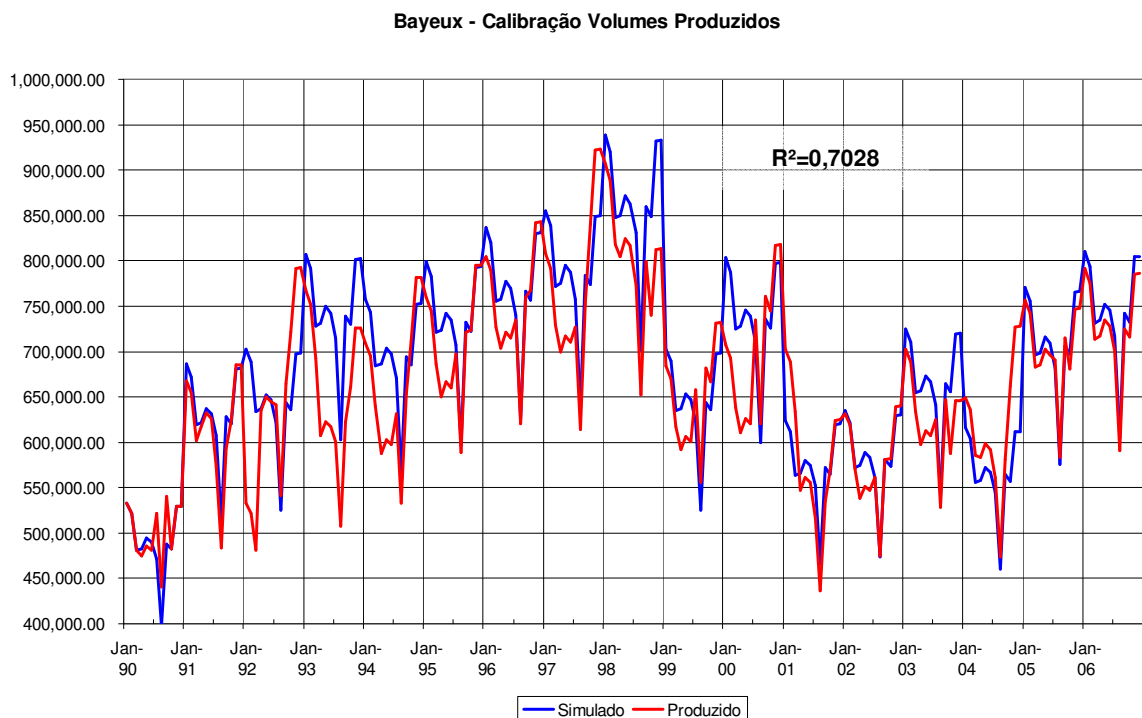
Os valores de micromedições fornecidos pela CAGEPA são valores de consumo real de água pela população, não estão incluídas entre esses valores as perdas da rede de distribuição.

Outros valores paramétricos foram inseridos dentro do modelo de simulação, como é o caso do município do Conde. Para a análise de sensibilidade foi necessário à inserção de uma equação matemática para ajuste dos valores de demanda no período observado.

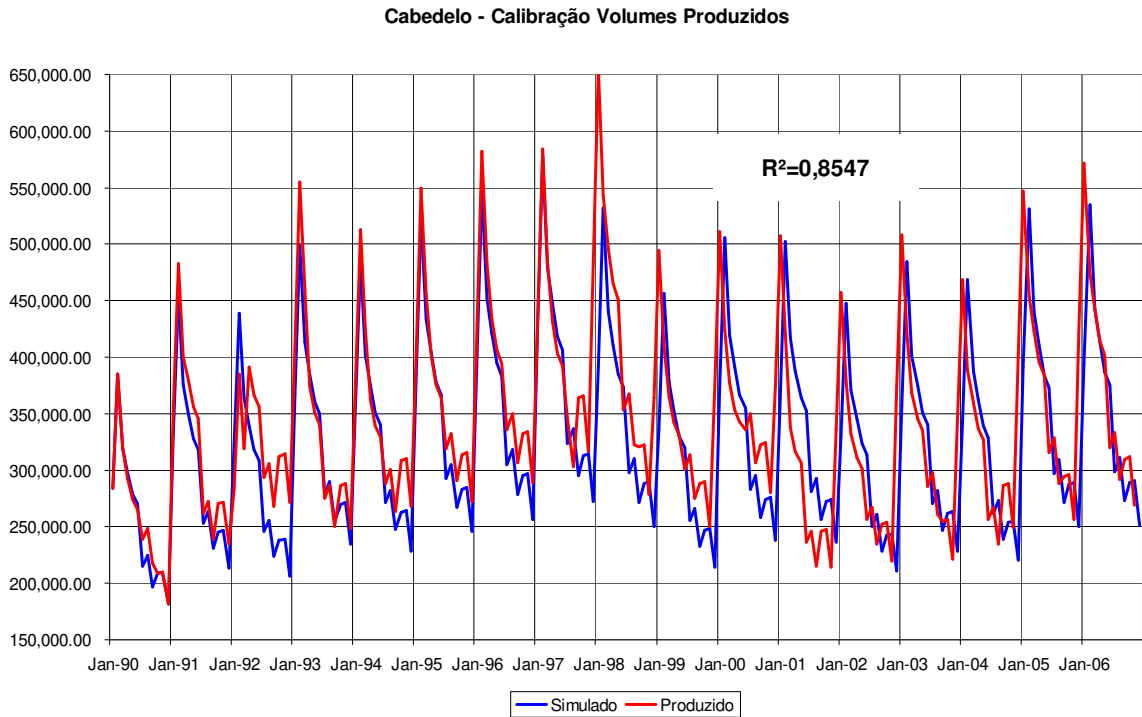
O ajuste de modelo pode ser verificado pelos gráficos de confrontação entre as demandas observadas pela concessionária de abastecimento d'água e a demanda produzida e simulada pelo modelo, de acordo com as Figuras abaixo:



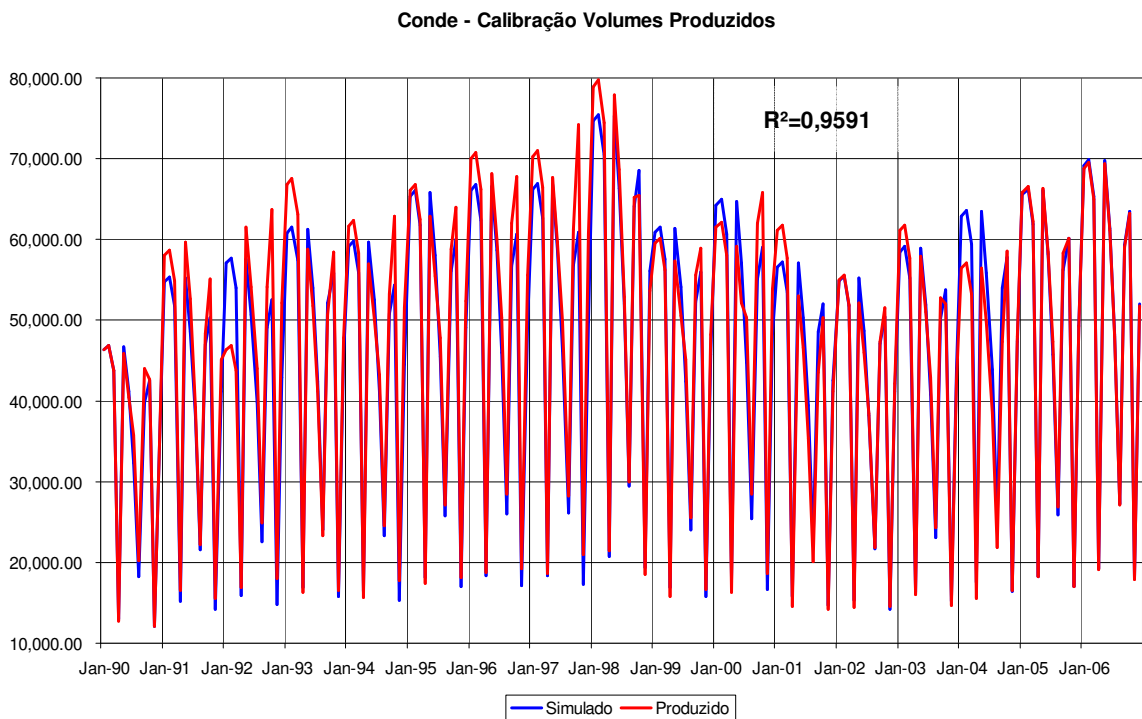
**Figura 6.2 – Calibração da demanda de Água da cidade de João Pessoa**



**Figura 6.3 – Calibração da demanda de Água da cidade de Baux**



**Figura 6.4 – Calibração da demanda de Água da cidade de Cabedelo**



**Figura 6.5 – Calibração da demanda de Água da cidade do Conde**



Jacumã - Calibração Volumes Produzidos

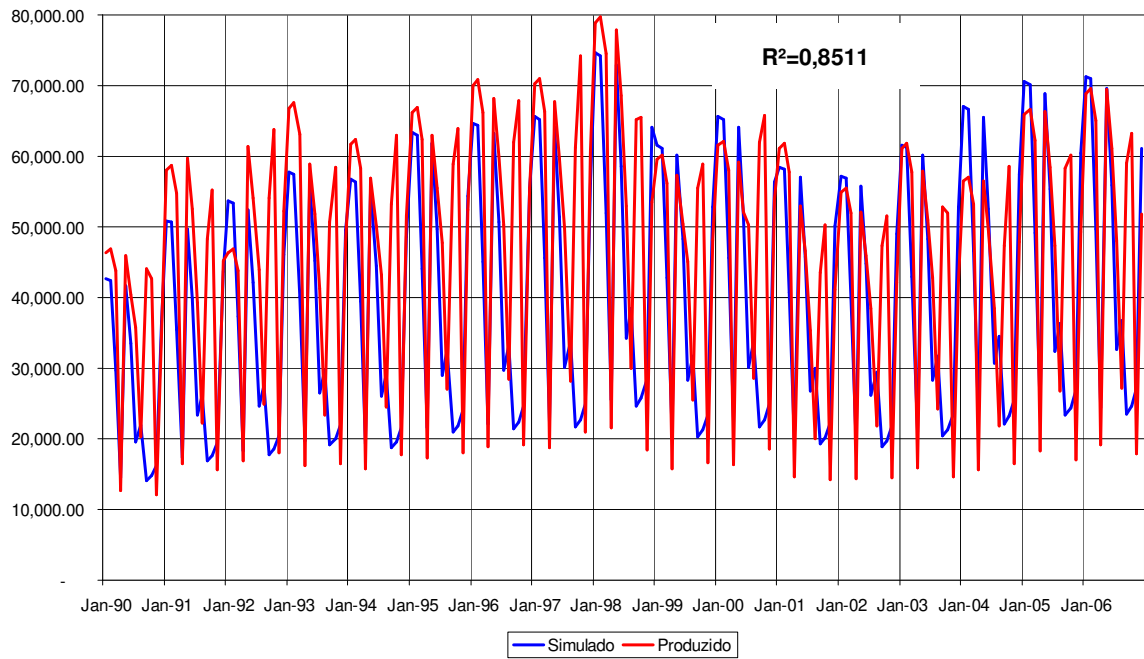


Figura 6.6 – Calibração da demanda de Água do distrito de Jacumã

Santa Rita - Calibração Volumes Produzidos

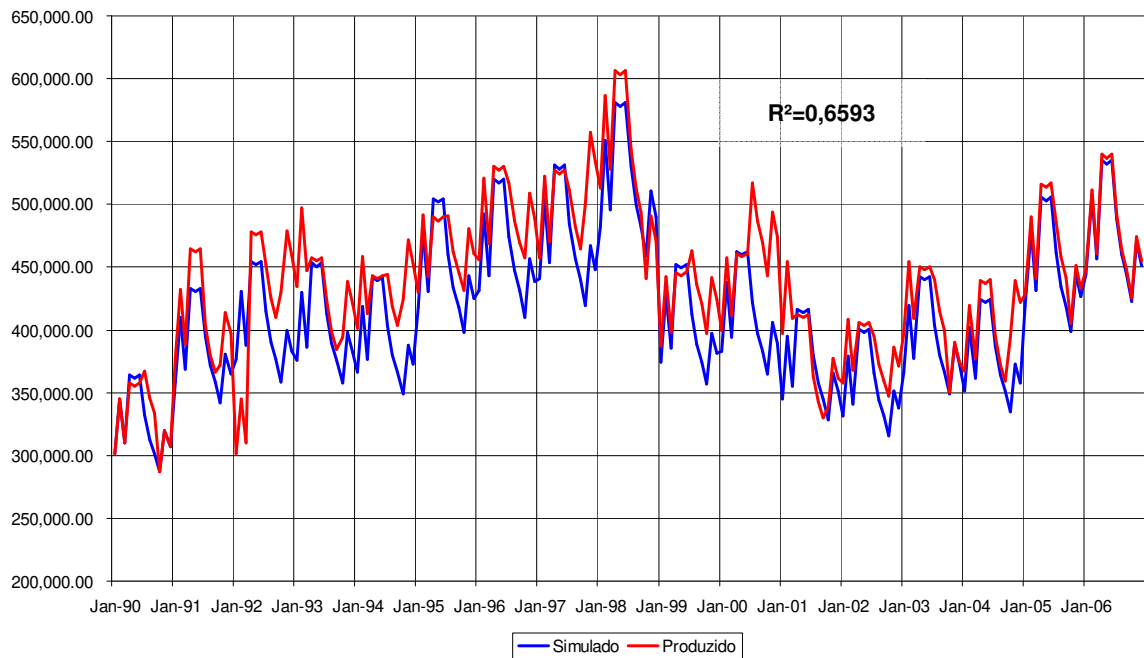


Figura 6.7 – Calibração da demanda de Água da cidade de Santa Rita

## CAPÍTULO VII – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Crescimento Populacional

O aporte de águas do manancial está ligado diretamente ao desenvolvimento da população. Por motivos óbvios, a necessidade de consumo d'água cresce com o aumento da população. Portanto, o planejamento do sistema de recursos hídricos necessariamente deve levar em consideração o crescimento populacional. Isso deve ser feito para embasar os planos e métodos a serem adotados no gerenciamento dos recursos hídricos.

A Tabela 7.1 mostra a estimativa da população feita pelo modelo de simulação WEAP com base na contagem feita pelo IBGE para a população no ano de 1991 e do crescimento populacional adotado, conforme mostrado na Tabela 6.1.

**Tabela 7.1 – Crescimento populacional pelo modelo de simulação WEAP**

	<b>João Pessoa</b>	<b>Cabedelo</b>	<b>Bayeux</b>	<b>Santa Rita</b>	<b>Conde</b>	<b>Jacumã</b>	<b>Soma</b>
<b>1990</b>	488,226	28,094	76,625	92,890	9,976	7,412	<b>703,223</b>
<b>1998</b>	568,455	36,738	83,832	105,800	13,822	11,161	<b>819,808</b>
<b>2000</b>	590,493	39,286	85,738	109,298	14,996	12,364	<b>852,175</b>
<b>2005</b>	649,400	46,457	90,692	118,560	18,385	15,968	<b>939,463</b>
<b>2007</b>	674,576	49,679	92,754	122,480	19,947	17,689	<b>977,125</b>
<b>2012</b>	741,870	58,747	98,114	132,859	24,456	22,846	<b>1,078,892</b>
<b>2017</b>	815,878	69,471	103,784	144,116	29,984	29,507	<b>1,192,740</b>
<b>2022</b>	897,268	82,151	109,782	156,328	36,761	38,110	<b>1,320,400</b>
<b>2027</b>	986,778	97,147	116,127	169,574	45,070	49,221	<b>1,463,916</b>

Quando comparados, os números observados na Tabela 7.1 com os dados da contagem populacional apresentados pelo IBGE, até o ano de 2007, verifica-se que os resultado do modelo de simulação WEAP são mais próximo da realidade. Segundo os dados apresentados no Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame (2000) foi apontado uma população de 693.416 habitantes na cidade de João Pessoa no ano de 2005, e, segundo o último censo do IBGE em 2007, esse número de habitantes ainda não foi atingido. De acordo com o modelo de simulação utilizado essa barreira populacional será atingida no fim do ano de 2008.

Do ponto de vista do planejamento de recursos hídricos essa superestimação apresentada pelo Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame (2000) é uma vantagem, pois permite uma margem de folga para uma mudança nos planos caso seja necessário. No entanto, esse primeiro resultado apresentado pelo modelo de simulação demonstra que existe uma maior precisão no diagnóstico feito no período no qual o modelo foi calibrado e, por conseqüência, tem-se a possibilidade de apresentar melhores resultados com relação às demandas necessárias para atender as populações futuras.

### 7.1.1 Crescimento Turístico

As projeções futuras para as populações turísticas, mostradas na Tabela 7.2, foram estimadas com base em três perspectivas de crescimento, conforme dados de crescimento apresentados pela PBTUR, agência governamental responsável pelo turismo na Paraíba.

Na Tabela 7.2 são apontados os crescimentos do fluxo turísticos de acordo com os três cenários de desenvolvimento sugeridos.

**Tabela 7.2 – População turística em três perspectivas de desenvolvimento**

	<b>Pessimista (1,20%)</b>	<b>Normal (3,36%)</b>	<b>Otimista (8,12%)</b>
<b>1990</b>	388,218	388,218	388,218
<b>1998</b>	562,425	562,425	562,425
<b>2000</b>	550,242	550,242	550,242
<b>2005</b>	712,046	712,046	712,046
<b>2007</b>	772,649	789,140	825,482
<b>2012</b>	820,134	930,929	1,219,657
<b>2017</b>	870,537	1,098,194	1,802,055
<b>2022</b>	924,038	1,295,513	2,662,553
<b>2027</b>	980,827	1,528,284	3,933,946

Os valores apresentados na Tabela 7.2 são iguais nos três cenários de crescimento turístico até o ano de 2006, por terem sido utilizadas na calibração do modelo e foram obtidas através de informações obtidas na PBTUR.

Observando as Tabelas 7.1 e 7.2 verifica-se que entre 1990 a 2005 o fluxo anual de turistas apresenta números bem próximos aos da população da cidade de João Pessoa. Se considerarmos que a maior parte deste fluxo turístico se concentra em dois ou três meses por ano, pode-se obter problemas no atendimento a população, caso a infra-estrutura hídrica não leve em consideração estes fatores de inchaço da população, devido o fluxo turístico nos períodos de maior temporada.

Um dado interessante é observado com relação ao valor apresentado a partir do ano de 2005, período de calibração do modelo, que mostra o fluxo turístico anual superando o número de habitantes da cidade de João Pessoa, demonstrando a tendência na evolução e aumento do fluxo turístico na região.

Do ponto de vista dos cenários de desenvolvimento turístico Pessimista e Normal existe uma tendência de acompanhamento entre o número de turistas e o crescimento da população da região metropolitana abastecida pela bacia hidrográfica do Rio Gramame, o que permite realizar um planejamento considerando, aproximadamente, o dobro da população ao longo dos anos.

Com um desenvolvimento do fluxo turístico Otimista, observa-se que no ano de 2012 a população turística ultrapassa em aproximadamente 13,04% a população da região Metropolitana de João Pessoa. No horizonte de vinte anos essa população turística apresenta-se 168,73% maior que a população de área metropolitana. Ao longo de 27 anos tem-se uma população para planejamento quatro vezes maior que a população residente, exigindo modelos de gestão mais eficientes no sentido a adequar a disponibilidade e infra-estrutura de recursos hídricos às demandas do sistema.

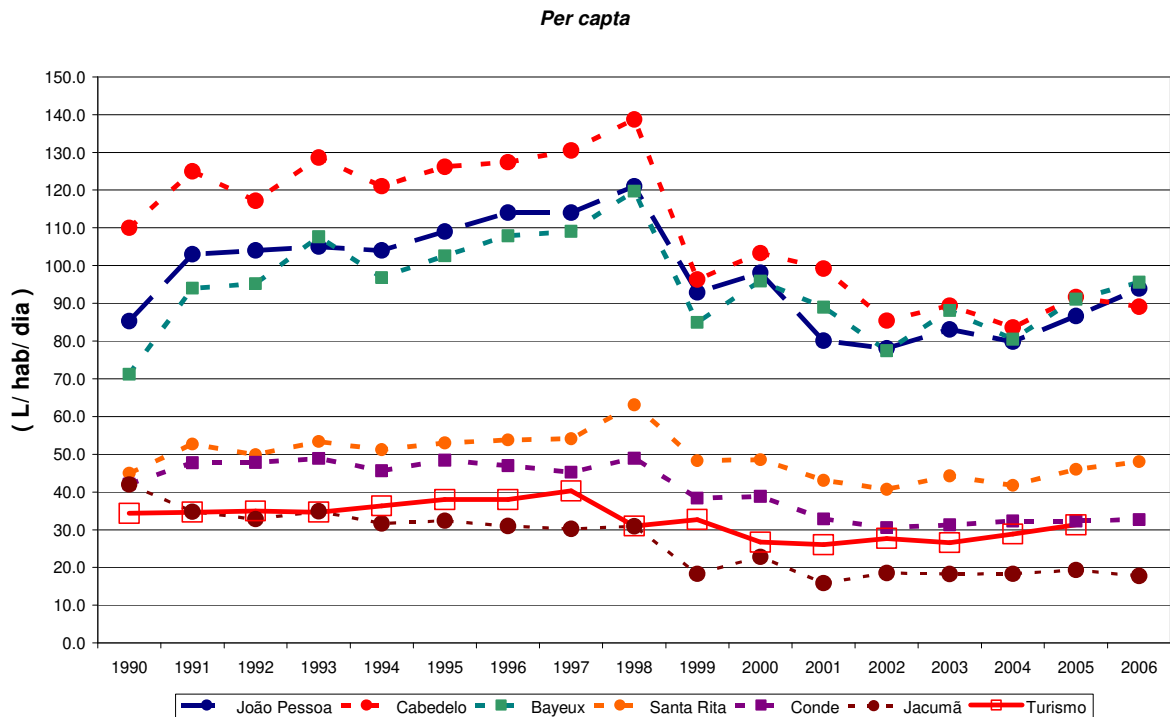
## 7.2 Demandas

Para a realização de um estudo sobre as demandas hídricas do sistema no modelo de simulação WEAP é necessário dispor de informações mais detalhadas. O modelo realiza um estudo sobre a evolução e o planejamento do uso da água, por isso informações como a variação mensal do consumo *per capita* e as perdas físicas anuais são necessárias para a realização da simulação.

### 7.2.1 Consumo médio *per capita*

O consumo *per capita* é uma média da quantidade de água utilizada por cada habitante em um único dia e, em geral, essa quantidade é estimada em litros.

Para a calibração do modelo foi necessária a realização de um diagnóstico do consumo real ao longo dos anos em cada município abastecido pela bacia do Rio Gramame, conforme é apresentado na Figura 7.1. Os valores foram obtidos a partir dos dados de micromedição de água fornecido pela CAGEPA, entre os anos de 1990 até 2006, sendo considerado para o cálculo do consumo *per capita* a população estimada e o volume total de água faturada medido no ano.



**Figura 7.1 – Evolução do consumo *per capita* dos municípios da Grande João Pessoa**

Observa-se que até 1998, para todas as localidades, ao longo dos anos, há uma tendência em aumentar o consumo. Com a crise no fornecimento de água devido a uma forte estiagem, verifica-se uma queda acentuada no consumo em 1999. No entanto, a partir de 2003 observa-se novamente uma tendência de crescimento do consumo *per capita*.

Com base no diagnóstico feito no período observado, adotou-se o maior consumo *per capita* do período, como sendo o volume consumido por cada habitante no horizonte de estudo, conforme mostra a Tabela 7.3 abaixo:

<b>Tabela 7.3 – Consumo <i>per capita</i> adotado para horizonte de projeto</b>							
	<b>João Pessoa</b>	<b>Cabedelo</b>	<b>Bayeux</b>	<b>Santa Rita</b>	<b>Conde</b>	<b>Jacumã</b>	<b>Turismo</b>
<b>Per capita (L/hab/dia)</b>	121,0	138,7	119,7	63,1	49,0	34,9	40,33

O consumo *per capita* da população turística foi considerado igual ao consumo *per capita* da cidade de João Pessoa, pois, a maior concentração de turistas é registrada na capital, em função do maior número de hospedagens. No entanto o consumo de água da população turística tem um incremento matemático em função da taxa média de ocupação hoteleira estimada em 2,7 dias, conforme dados apresentados na Tabela 6.1.

### 7.2.2 Perdas do sistema

Para o cálculo das perdas fez-se uso dos volumes de produção mensal de água realizado pela CAGEPA e dos volumes micro medidos pela mesma. Os resultados encontram-se na Tabela 7.4:

**Tabela 7.4 – Perdas mensais de água (%)**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>João Pessoa</b>	51.65	54.95	56.45	51.17	56.31	55.22	53.28	54.11	55.28	56.38	56.37	53.71
<b>Cabedelo</b>	22.58	39.26	34.16	30.85	35.46	30.61	27.84	28.94	13.88	8.29	1.00	9.61
<b>Bayeux</b>	69.73	69.84	64.99	65.03	67.30	67.69	70.62	63.22	69.24	63.95	67.70	68.78
<b>Santa Rita</b>	50.84	57.25	50.00	57.25	60.16	59.17	61.59	57.06	55.84	47.18	48.62	50.05
<b>Conde</b>	74.35	75.61	72.38	2.76	74.07	73.07	65.83	44.89	72.69	72.29	3.68	66.06
<b>Jacumã</b>	78.41	64.81	47.09	20.94	72.44	74.02	57.52	61.73	31.78	37.92	15.35	63.58
<b>Turismo</b>	51.65	54.95	56.45	51.17	56.31	55.22	53.28	54.11	55.28	56.38	56.37	53.71

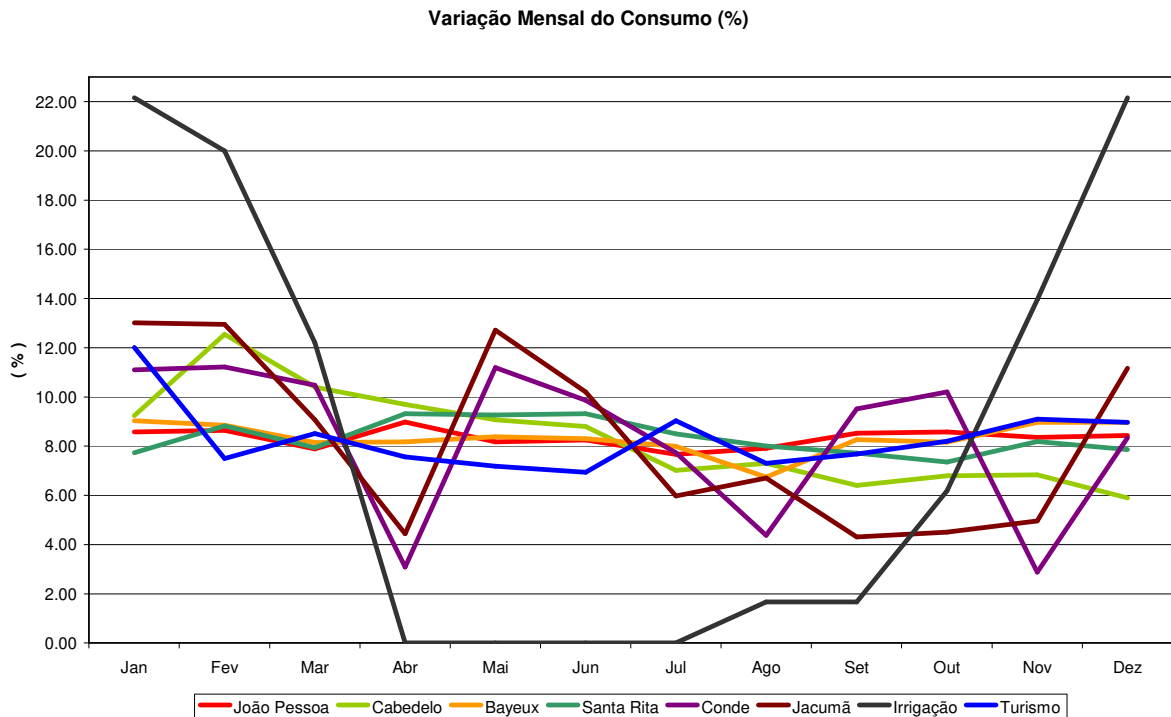
As perdas de água de um sistema de abastecimento, principalmente quando há um grande conglomerado humano, apresentam valores que, em princípio, podem parecer absurdos, no entanto, necessariamente essas perdas não são apenas falhas na rede de distribuição. As perdas podem ser geradas, também, por desvios junto aos medidores, popularmente chamado de “gato”, também pela utilização imprópria das torneiras de áreas verdes, ou pelo uso inadequado de hidrante para o combate a incêndios. São ações isoladas de difícil controle por parte da concessionária e que, certamente, causam o aumento das perdas de água.

A Tabela 7.4 apresenta alguns valores incoerentes na cidade do Conde, nos meses de abril e novembro, e na cidade de Cabedelo, também, há uma incoerência no mês de novembro. A inconsistência dos resultados apresentados pode ter sido causada por erro de leitura, ou, de lançamento dos resultados nas planilhas obtidas na CAGEPA.

### 7.2.3 Variação mensal do consumo

A variação mensal do consumo é utilizada no modelo de simulação WEAP para refletir o efeito temporário do consumo de recursos hídricos no local onde há demanda, pode-se dizer que é a forma como a água é distribuída ao longo do ano dentro da malha consumidora.

Os valores utilizados foram obtidos através das informações obtidas na CAGEPA e na AESA, e estão apresentadas na Figura 7.2.



**Figura 7.2 – Distribuição percentual do consumo de água por local de demanda ao longo do ano**

Os valores utilizados para gerar a Figura 7.2, estão apresentados na Tabela 7.5, e foram obtidos através dos dados de volume micromedido e volume produzido, observados nas planilhas do ano de 2006, apresentados pela CAGEPA.

A variação utilizada para o turismo está de acordo com a distribuição média do fluxo turístico ao longo do ano, semelhante ao resultado apresentado na Figura-4.1, quando há uma maior concentração no período do verão e um aumento também no mês de julho.

**Tabela 7.5 – Distribuição do consumo mensal de água (%)**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
<b>João Pessoa</b>	8.58	8.64	7.89	8.98	8.17	8.25	7.67	7.92	8.52	8.58	8.36	8.43	100.00
<b>Cabedelo</b>	9.24	12.54	10.39	9.69	9.08	8.80	7.02	7.31	6.40	6.79	6.83	5.90	100.00
<b>Bayeux</b>	9.03	8.85	8.15	8.18	8.38	8.31	7.99	6.75	8.27	8.17	8.96	8.97	100.00
<b>Santa Rita</b>	7.72	8.83	7.94	9.31	9.26	9.32	8.50	8.01	7.72	7.35	8.18	7.85	100.00
<b>Conde</b>	11.10	11.22	10.48	3.09	11.19	9.86	7.74	4.38	9.52	10.20	2.88	8.35	100.00
<b>Jacumã</b>	13.02	12.95	9.07	4.44	12.71	10.21	5.98	6.70	4.31	4.50	4.96	11.17	100.00
<b>Irrigação</b>	22.16	19.99	12.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	1.67	6.18	13.96	22.16	100.00
<b>Turismo</b>	12.02	7.50	8.52	7.57	7.19	6.94	9.04	7.30	7.68	8.20	9.10	8.97	100.00

#### 7.2.4 Resultado das Demandas

As previsões das demandas foram feitas com base nos parâmetros de crescimento populacional, perdas do sistema, consumo *per capita* e distribuição do consumo mensal. Desta

forma, a demanda hídrica de cada local pode ser estimada no horizonte de projeto, chegando a valores máximos em 2027, conforme mostra a Tabela 7.6.

**Tabela 7.6 - Demandas hídricas futuras para abastecimento somadas às perdas (m<sup>3</sup>/mês)**

Ano	João Pessoa	Cabedelo	Bayeux	Sta. Rita	Conde	Jacumã	Irrigação
2006	5,367,995.33	536,899.79	791,264.57	539,192.34	70,334.11	38,810.24	44,445,283.66
2012	7,755,810.68	1,022,038.41	1,060,477.60	781,490.38	134,290.68	103,759.14	54,330,741.42
2017	8,529,513.76	1,208,592.54	1,121,764.10	847,709.25	164,645.83	134,009.90	63,175,391.61
2022	9,380,399.81	1,429,198.66	1,186,592.43	919,539.10	201,862.47	173,080.20	73,326,867.37
2027	10,316,168.43	1,690,072.33	1,255,167.28	997,455.40	247,491.59	223,541.37	84,967,765.00

Observam-se volumes de demanda bastante elevados, principalmente na cidade de João Pessoa. Esses números são reflexos das perdas no sistema de distribuição. Os valores de demanda apenas para o abastecimento estão indicados na Tabela 7.7. Observa-se uma grande queda nos valores de demanda hídrica, relativo aos elevados índices de perdas físicas.

**Tabela 7.7 - Demandas hídricas futuras para abastecimento (m<sup>3</sup>/mês) excluídas as perdas físicas**

Ano	João Pessoa	Cabedelo	Bayeux	Sta. Rita	Conde	Jacumã	Irrigação
2006	2,507,927.42	334,810.71	239,515.79	244,901.16	17,914.10	8,379.13	42,223,019.48
2012	3,623,514.75	637,343.15	321,006.57	354,952.93	34,203.84	22,401.60	51,614,204.35
2017	3,984,988.83	753,678.31	339,557.99	385,029.54	41,935.29	28,932.74	60,016,622.03
2022	4,382,522.79	891,248.28	359,181.53	417,654.66	51,414.37	37,368.02	69,660,524.00
2027	4,819,713.89	1,053,929.10	379,939.14	453,044.24	63,036.11	48,262.58	80,719,376.75

A diferença entre os resultados apresentados nas Tabela 7.6 e 7.7 demonstra uma relação de quanto é demandado nos locais de consumo e quanto de volume é retirado do manancial para poder atender essa demanda. O volume de água retirado do manancial deve ser igual ao volume de água produzida pela CAGEPA, logo, o volume de água produzido implica diretamente na variação do volume do reservatório, de onde é retirada a água produzida.

Observa-se que em João Pessoa, no horizonte de vinte anos, a demanda crescerá 92,18%. A Cidade de Santa Rita terá um crescimento próximo ao da capital, com 84,99%. A cidade de Baux deverá apresentar o crescimento mais modesto na demanda, com apenas 58,63%.

As previsões mais impressionantes, se mantidas as perdas físicas atuais, ficaram com os locais de maior potencial para crescimento do fluxo turístico. A cidade de Cabedelo apresenta um valor de demanda aumentado, num horizonte de vinte anos, em 214,78% e o aumento da demanda do município do Conde será de 251,88%. O valor recorde no aumento da demanda esta com o distrito de Jacumã, que tem uma previsão de 475,99%.



Mantida a taxa de crescimento e os métodos de irrigação utilizados, a demanda para irrigação apresenta um desenvolvimento de 91,17% no horizonte de vinte anos.

As demandas de água destinadas a atender os fluxos turísticos foram projetadas separadamente, devido à necessidade de se ter uma análise mais precisa dos efeitos do desenvolvimento desse setor sobre os recursos hídricos da bacia do Rio Gramame. As demandas hídricas projetadas, oriundas da soma das demandas e das perdas estimadas, estão apresentadas na Tabela 7.8.

**Tabela 7.8 - Demandas hídricas futuras para atendimento ao fluxo turístico somada as perdas (m<sup>3</sup>/mês)**

<b>Ano</b>	<b>Fluxo Turístico Pessimista (1,20%)</b>	<b>Fluxo Turístico Normal (3,36%)</b>	<b>Fluxo Turístico Otimista (8,12%)</b>
<b>2006</b>	4,212,615.87	4,212,615.87	4,212,615.87
<b>2012</b>	6,867,144.51	7,794,856.34	10,212,435.66
<b>2017</b>	7,289,181.24	9,195,399.85	15,088,967.35
<b>2022</b>	7,737,155.25	10,847,586.50	22,294,087.63
<b>2027</b>	8,212,660.57	12,796,630.36	32,939,718.92

Observa-se que, para um fluxo turístico de crescimento normal com taxa de crescimento de 3,36%, num horizonte de vinte anos, as demandas de águas necessárias para atender o fluxo turístico irão superar a demanda de João Pessoa em 24,04%. Em uma perspectiva de desenvolvimento do setor turístico com crescimento Pessimista (1,20%) as demandas de água não chegam a superar, ficando 20,39% abaixo das demandas da capital do estado.

Com uma tendência de crescimento otimista do setor turístico (8,12%), no horizonte de projeto de vinte anos, as demandas necessárias a atender o fluxo turístico ultrapassam a soma de todas as outras demandas das cidades abastecidas pelo reservatório Gramame-Mamuaba. A soma das demandas das cidades de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e Santa Rita, mostradas na Tabela 7.6, é de 14.729.896,40 m<sup>3</sup>, enquanto que a demanda turística no cenário de crescimento Otimista é de 32.939.718,92 m<sup>3</sup>, de acordo com a Tabela 7.8. Em termos percentuais a demandas turísticas é 123,62% superior as demandas da Grande João Pessoa.

A Tabela 7.9 apresenta os resultados das demandas de abastecimento necessárias ao atendimento aos fluxos turísticos analisados, sem considerar as perdas do sistema de abastecimento.

**Tabela 7.9 - Demandas hídricas futuras para abastecimento (m<sup>3</sup>/mês)**

<b>Ano</b>	<b>Fluxo Turístico Pessimista (1,20%)</b>	<b>Fluxo Turístico Normal (3,36%)</b>	<b>Fluxo Turístico Otimista (8,12%)</b>
<b>2006</b>	1,968,134.14	1,968,134.14	1,968,134.14
<b>2012</b>	3,208,329.91	3,641,756.88	4,771,249.94
<b>2017</b>	3,405,505.48	4,296,090.81	7,049,565.54
<b>2022</b>	3,614,798.93	5,067,992.41	10,415,797.74
<b>2027</b>	3,836,955.02	5,978,585.70	15,389,436.68

### 7.3 Série hidrológica

Por se tratar de um modelo de simulação para previsões de acontecimentos futuros, é preciso que se faça uso de alguns critérios para a escolha dos cenários de pluviometria, pois a partir dos dados de precipitação é que se determinará os influxos aos reservatórios.

Seguindo a orientação do estudo realizado por Yevjevich (1972), baseada na observação dos dados de precipitação de João Pessoa, apresentado no ANEXO 1, verifica-se que há um intervalo de 15 a 22 anos entre os períodos de grande estiagem, e no intervalo máximo de 2 anos após essas a estiagem há um período muito chuvoso.

A seqüência hidrológica adotada considera um ciclo com um período seco a cada 15 anos como tempo de retorno do período de seca, ou seja, quando as precipitações de chuva são menores. Esse espaço de tempo pode ser observado através dos dados pluviométricos registrados desde 1912. O estudo apresentado neste trabalho prevêem a seguinte série histórica:

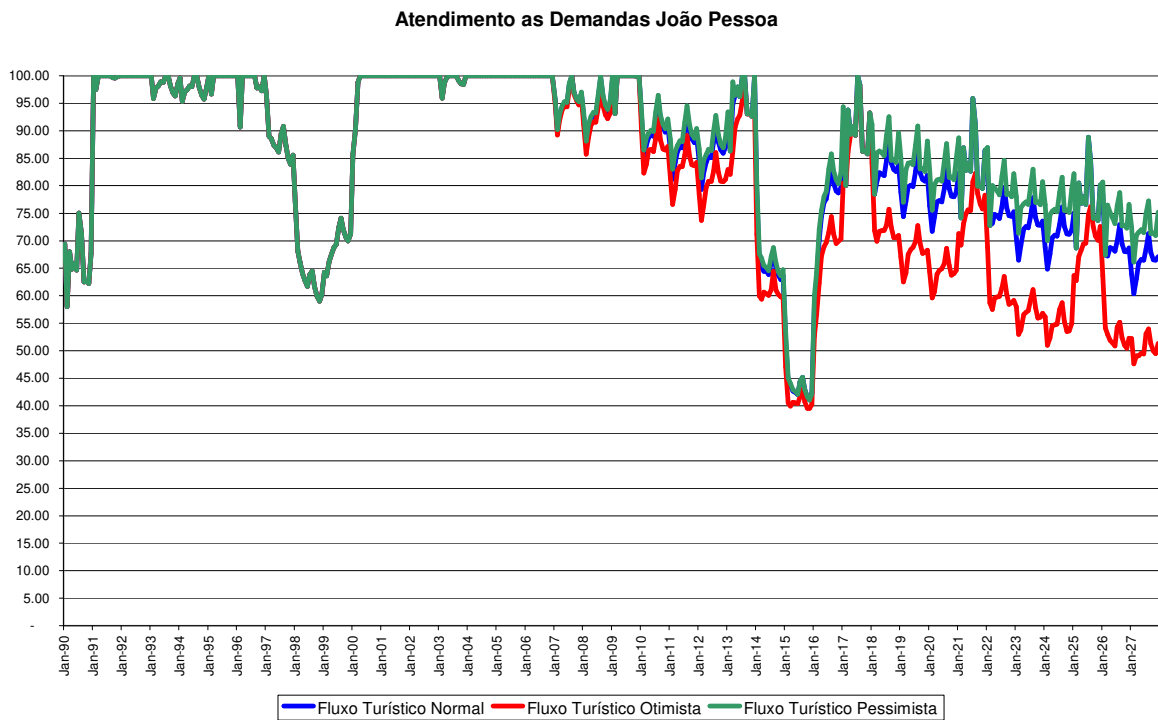
**Tabela 7.10-Cenários hidrológicos previstos**

<b>ANO</b>	<b>Cenário Hidrológico</b>
2008	Normal
2009	Chuvoso
2010-2012	Normal
2013	Chuvoso
2014	Seco
2015	Muito Seco
2016	Normal
2017	Muito Chuvoso
2018-2020	Normal
2021	Chuvoso
2022-2024	Normal
2025	Chuvoso
2026-2027	Normal

## 7.4 Atendimento as demandas

De acordo com as séries hidrológicas previstas e com as dimensões e vazões máximas determinadas para cada local de demanda, observou-se as seguintes coberturas das demandas.

### 7.4.1 João Pessoa



**Figura 7.3** Erro! A opção de imagem deve ser a primeira opção de formatação. – Atendimento as demandas de João Pessoa (%)

De acordo com a Figura 7.3, observa-se uma cobertura de 63,35% das demandas do município de João Pessoa no ano de 1999, considerado como período da seca. Após esse período a adução de água de poços foi adicionada ao sistema e observa-se um atendimento de 100% das demandas nos anos imediatamente posteriores, até 2002.

Mesmo tendo os períodos hidrológicos a partir de 2008 alternando-se entre normal e chuvoso, os atendimentos às demandas não apresentam uma confiabilidade de 100%, ou seja, a confiabilidade para o mês de fevereiro varia é de 75,30% no cenário Pessimista e 72,38% no cenário Otimista. Para um ano chuvoso, como é o caso do ano de 2009, a confiabilidade apresenta valores oscilando de 100,00% a 93,40%, entre os cenários Pessimista e Otimista, respectivamente.

Para o ano de 2013, um ano chuvoso, observa-se que a confiabilidade no atendimento as demandas de João Pessoa apresenta-se em 96,56% no desenvolvimento Pessimista e 79,68% no cenário Otimista de crescimento.

No período de seca, estipulado para 2015, o atendimento às demandas terá uma confiabilidade de 31,98% em março, no cenário Otimista, e 39,90% em outubro no cenário Pessimista.

Um momento de alívio, em 2017, é verificado, no mês julho, uma confiabilidade máxima de 100,00% para o Cenário de Fluxo Turísticos Pessimista, e 72,16% em janeiro para o cenário Otimista.

Para maio de 2018, verifica-se um distanciamento entre os atendimento as demandas, no cenário Pessimista a confiabilidade é de 74,96%, no cenário Normal 69,92% e no Otimista 60,93%.

Observa-se que nos períodos considerados chuvosos, no ano de 2021, nos cenário Pessimista, Normal e Otimista a confiabilidade máxima é de 91,17%, 84,29% e 82.11%, respectivamente. No ano de 2025 tem-se: 85,96%, 76,89% e 76,16% para os cenários respectivos: Pessimista, Normal e Otimista.

A confiabilidade de atendimento as demandas em João Pessoa, em dezembro de 2027 é de 69,51% no cenário Pessimista, 60,00% no cenário Normal e 53,99% no cenário Otimista.

7.4.2 Cabedelo

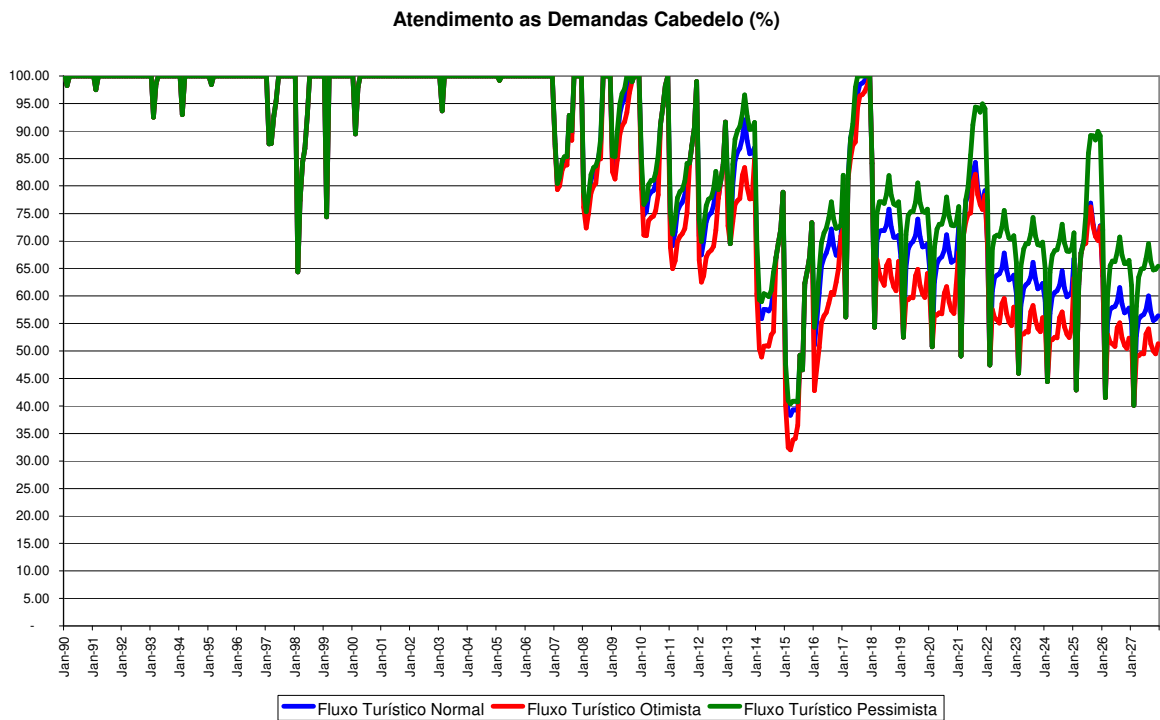


Figura 7.4 – Atendimento as demandas de Cabedelo (%)

Observa-se que os pontos dos vales apresentados na Figura 7.4, em cada ano ocorrem geralmente entre os meses de janeiro a março.

A partir de 2008, verifica-se uma queda na confiabilidade do atendimento as demandas, no entanto, diferentemente da capital do estado, observa-se que a confiabilidade é maior, entre os meses de setembro a dezembro a confiabilidade é de 100%, esse resultado é apresentado em 2009 durante o mesmo período, nos três cenários de desenvolvimento turístico proposto.

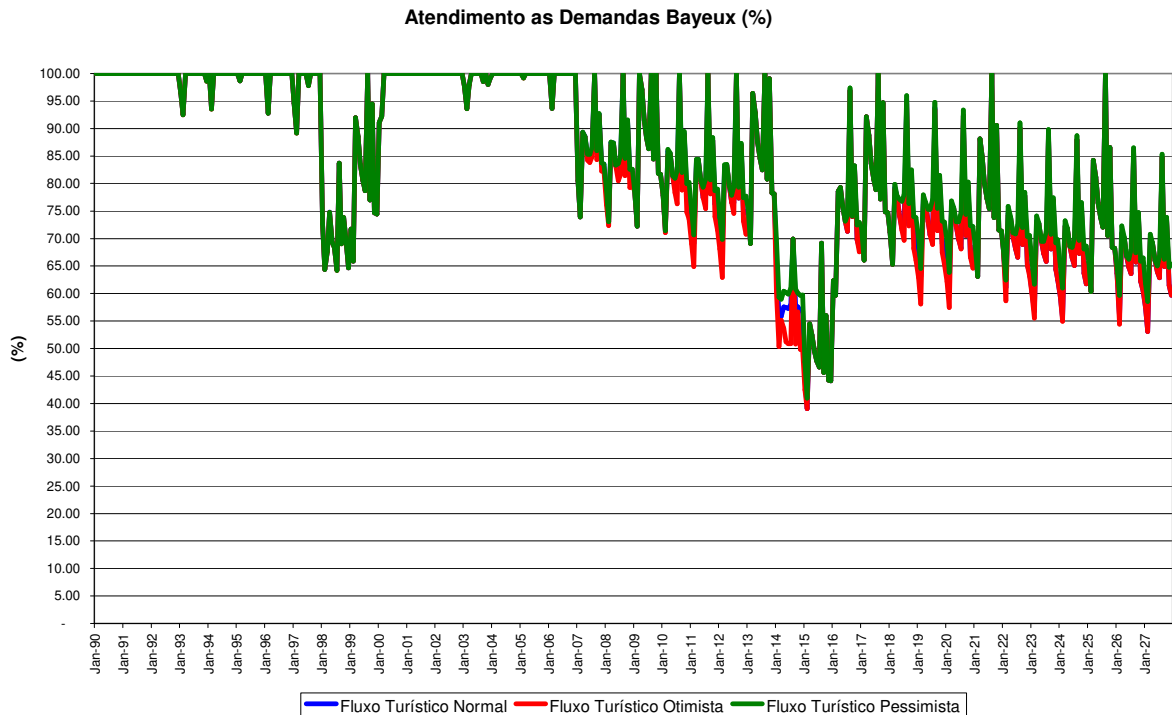
No ano de 2010, observa-se em março no cenário Pessimista a confiabilidade de 77,49%, de 75,38% no cenário Normal, e 70,98% no cenário Otimista. Para os meses de novembro e dezembro a confiabilidade nos três cenários retorna a 100%.

No período estipulado seco, 2015 verifica-se que a confiabilidade em fevereiro é de 40,99% no cenário Pessimista, 38,69% no cenário Normal de desenvolvimento, e 32,41% no cenário Otimista. A maior confiabilidade registrada para este ano é de 73,31% nos três cenários, no mês de dezembro.

Observa-se que em 2017, adotado como ano muito chuvoso, entre julho a dezembro a confiabilidade retorna a 100%, no cenário Pessimista. No mês de agosto, para os cenários Normal e Otimista a confiabilidade é de 98,47% e 69,38%, respectivamente. Verifica-se que a partir deste ano inicia-se um forte distanciamento entre os valores de confiabilidade. Em 2025 observa-se valores no mês de dezembro de 89,12% de confiabilidade no cenário Pessimista, 72,73% no cenário Normal e 72,57% no cenário Otimista.

Ao final do ano do horizonte de projeto, em dezembro de 2027 verifica-se que, no cenário Pessimista a confiabilidade é de 65,39%, 56,38% no cenário Normal e 51,33% no cenário Otimista de crescimento turístico.

### 7.4.3 Bayeux



**Figura 7.5 – Atendimento as demandas de Bayeux (%)**

Na simulação, o município de Bayeux também apresenta o déficit hídrico no período de 1999. Como eram esperadas, as variações da cobertura ocorrem em função do nível do reservatório de Marés, que recebe água do reservatório Gramame-Mamuaba e da barragem de nível no rio Mumbaba. Verifica-se, também, que não há grandes variações entre os cenários de desenvolvimento.

Para o ano de 2008 verifica-se a menor confiabilidade no mês de fevereiro é de 73,06% nos cenários Pessimistas e Normal, e de 72,38% no cenário Otimista, no mês de agosto verificasse que a cobertura é de 100% nos três cenários.

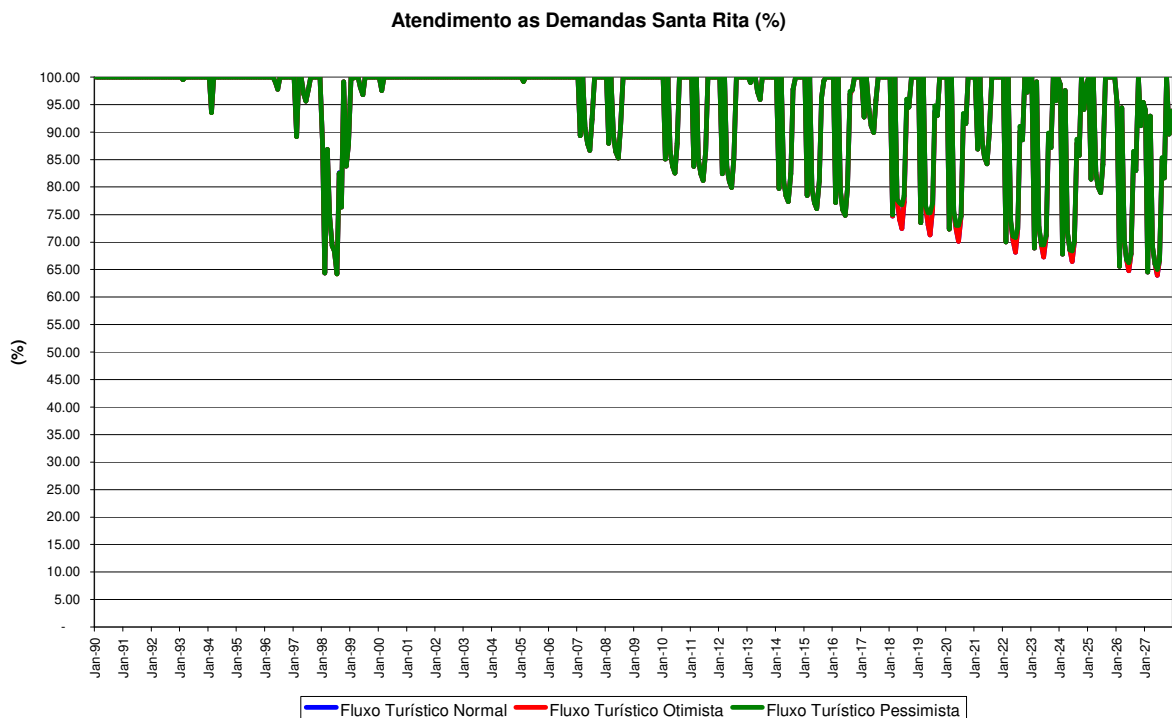
A partir do ano de 2010 é que a simulação começa a apresentar diferenças consideráveis entre os cenários de crescimento turístico. Para o mês de julho, observa-se que no cenário Pessimista a cobertura é de 82,35%, para o cenário Normal tem-se 80,32% e para o cenário Otimista 76,29% de cobertura.

Observa-se que para o ano de 2014, pela primeira vez na simulação, a cidade não atinge, pelo menos uma vez durante o ano simulado, a cobertura de 100%. Sendo um ano estimado com chuvas normais, verifica-se que a maior cobertura no atendimento é de 69,98% no cenário Pessimista, no mês de janeiro. Para o cenário de crescimento Normal e Otimista, 69,92% no mês de agosto.

Em 2015, ano considerado com cenário hidrológico muito seco é observado o menor índice de confiabilidade 39,04% em fevereiro para os cenários Normal e Otimista, para o cenário Pessimista a cobertura é de 40,98%. A maior cobertura é verificada no mês de agosto com 69,14%.

O último registro observado de cobertura total é observado em agosto de 2025, para os três cenários tem-se 100%. Ao final do horizonte de projeto, em 2027, observa-se uma cobertura de 65,38% para o cenário Pessimista, e 59,67% para os cenários Otimista e Normal.

#### 7.4.4 Santa Rita



**Figura 7.6 – Atendimento as demandas de Santa Rita (%)**

O município de Santa Rita, representado pela Figura 7.6, demonstra uma semelhança com os resultados da cidade de Bayeux. Com relação ao sistema de abastecimento da cidade de Santa Rita é necessário apontar que a maior parte da cidade é abastecida com poços que retiram água do rio Tibirizinho, além disso, os conjuntos habitacionais mais populosos do município como: Tibiri, Marcos Moura e Eitel Santiago, além do Distrito Industrial, contam com um sistema de abastecimento por poço tubular. Apenas o distrito de Várzea Nova faz parte do sistema de abastecimento do Gramame-Mamuaba, através do reservatório de Marés. Esses dados do sistema de abastecimento foram lançados na simulação.

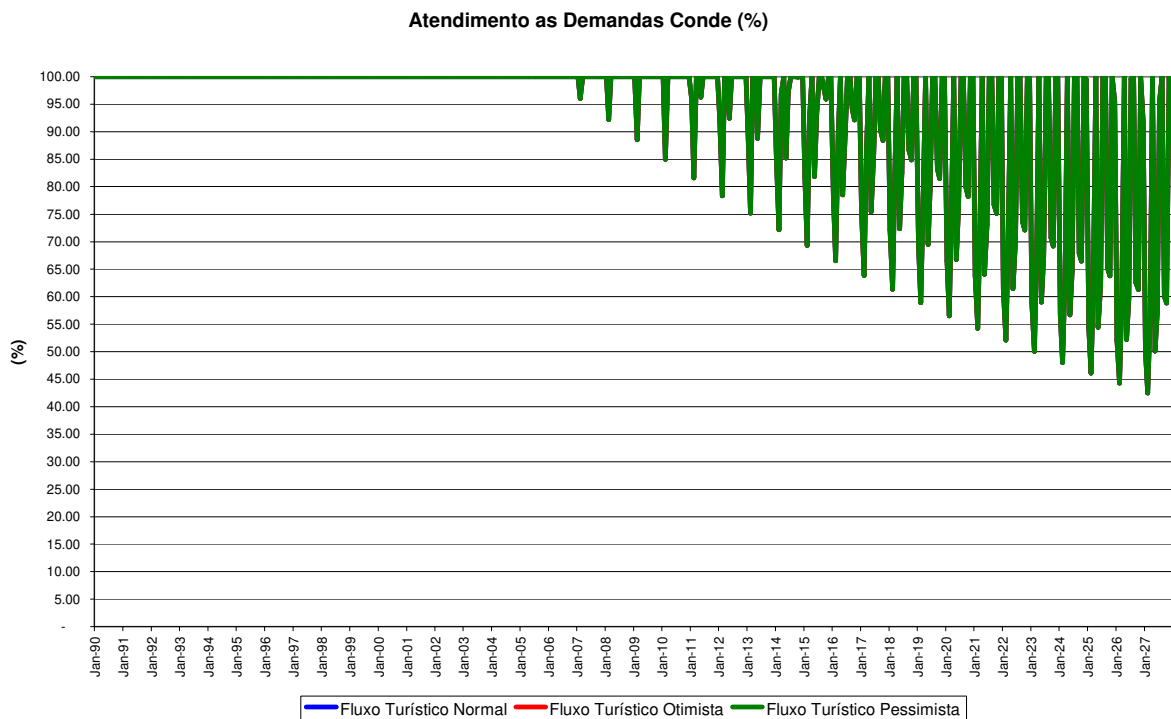
Observa-se que com a manutenção dos critérios de extração do aquífero o atendimento às coberturas apresenta índices de 100% durante todo o período simulado.

Para o ano de 2008, o menor índice de cobertura é 85,26% no mês de junho, retornando a 100% em agosto, esse índice permanece até janeiro de 2010.

Mesmo no período estimado como sendo seco, em 2015, a cobertura do sistema apresenta o menor índice de 76,08%.

Verifica-se que, sendo mantido o sistema atual, há uma tendência normal de queda na cobertura do sistema, sendo o menor índice no horizonte de projeto registrado em junho, com 63,96% de cobertura. O ano de 2027 fecha com 93,85% de cobertura.

#### 7.4.5 Conde



**Figura 7.7 – Atendimento as demandas de Conde (%)**

O município do Conde é abastecido por sete poços tubulares, diferentemente de Santa Rita, os aquíferos subterrâneos das duas primeiras demandas citadas, fazem parte da bacia do rio Gramame, por isso estão sujeitas as ações do regime de fluxo dos rios que abastecem os lençóis freáticos.

Pela modelagem não é possível verificar perdas significativas na cobertura as demandas no período de calibração do modelo entre os anos de 1998 e 1999, período registrado como sendo de seca.

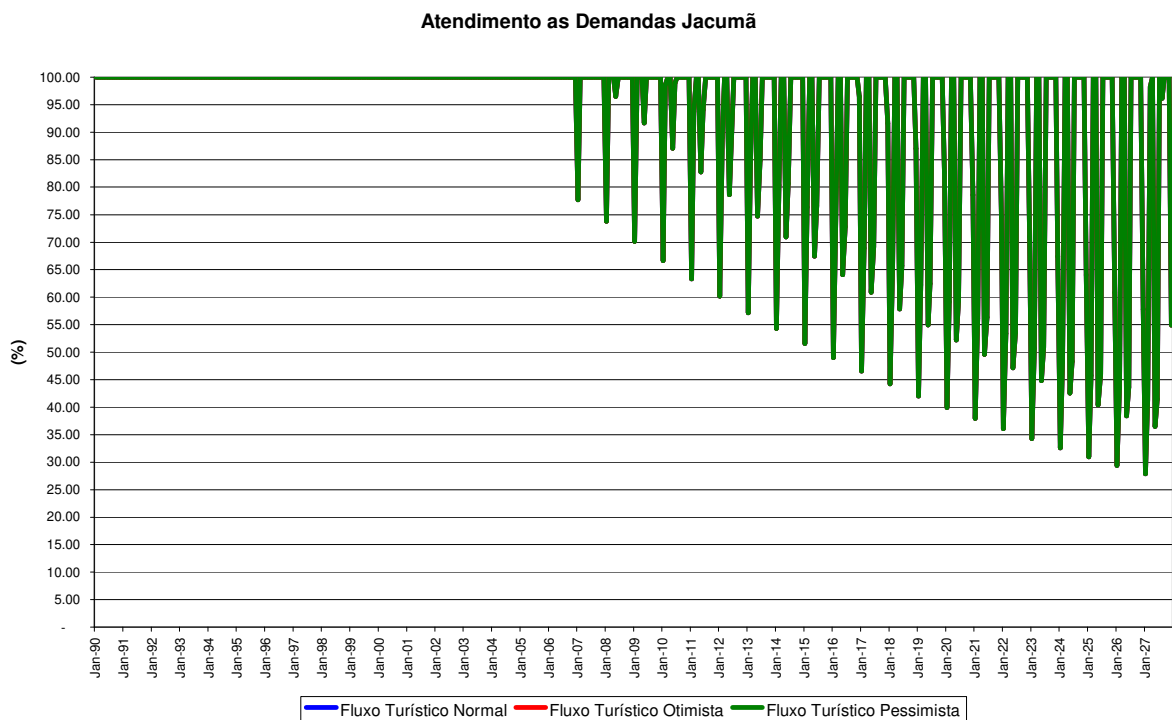


A partir do ano de 2011, através da simulação e dos períodos hidrológicos estimados, sendo mantida o sistema de abastecimento atual, verifica-se uma tendência à diminuição da cobertura às demandas do sistema, sendo registrados 96,03% no mês de fevereiro e 96,29% no mês de maio.

Observa-se que os menores valores são apresentados sempre no mês de fevereiro, período de maior demanda do município. Observa-se também que com o passar dos anos, os meses de maio e outubro tem uma diminuição de confiabilidade progressiva, diferente dos outros meses do ano. Isso se deve a distribuição do consumo ao longo do ano, apontada na Tabela 7.5 de distribuição de consumo mensal.

A menor confiabilidade do sistema é observada em fevereiro de 2027 com índice de 42.51% nos três cenários de desenvolvimento.

#### 7.4.6 Jacumã



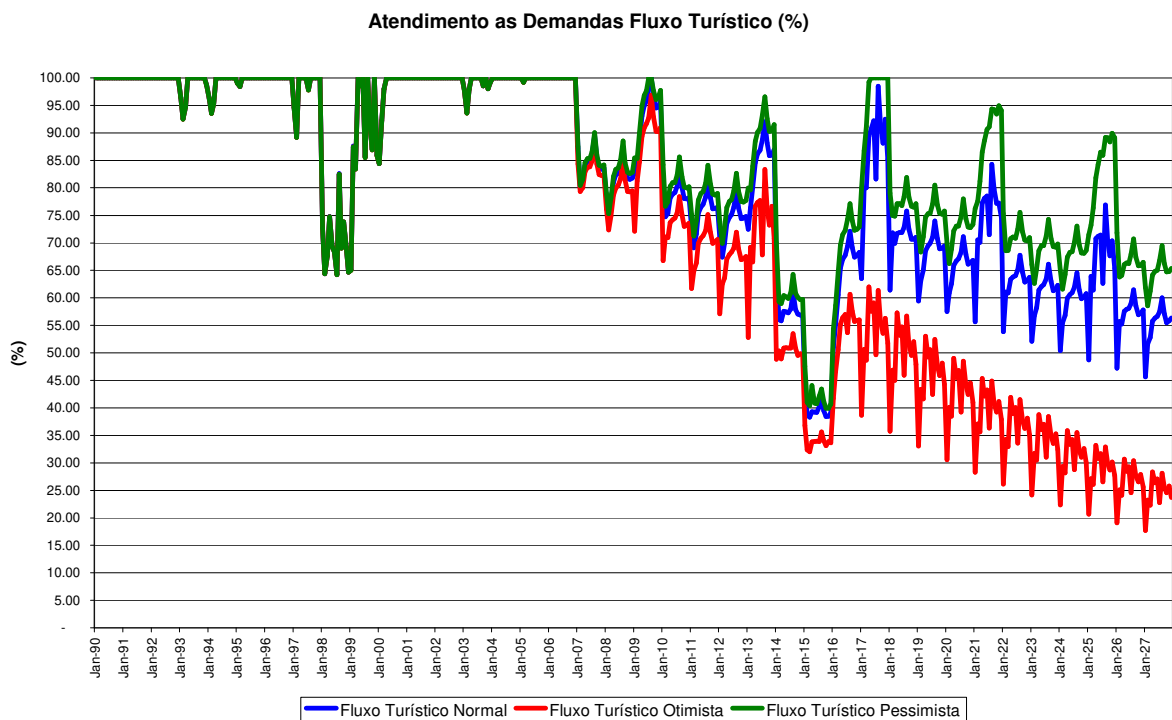
**Figura 7.8 – Atendimento as demandas do distrito de Jacumã (%)**

O distrito de Jacumã, pertencente ao município do Conde, também tem seu abastecimento feito através de poços tubulares. Os valores apresentados na Figura 7.8 são bem semelhantes aos da Figura 7.7, porém a cobertura no atendimento às demandas apresentam-se em valores totais um pouco menores.

Uma diferença perceptível com o passar dos anos estimados é visto com relação ao mês de outubro, que no distrito de Jacumã tem sua cobertura no atendimento às demandas de 100% em todos os anos simulados.

Em janeiro de 2027 a cobertura de atendimento às demandas do sistema apresenta seu menor valor, sendo de 27,92% nos três cenários de desenvolvimento. O ano termina com 54,91% de cobertura nos três cenários elaborados.

#### 7.4.7 Turismo



**Figura 7.9 – Atendimento às demandas turísticas (%)**

Na Figura 7.9 está representada a cobertura das demandas do atendimento ao fluxo turístico com seus três cenários de desenvolvimento. Observa-se que há um comportamento semelhante até janeiro de 2007, a partir dessa data iniciam-se as variações feitas pela simulação.

A simulação do atendimento as demandas do fluxo turísticos é feito através do fornecimento de água provenientes dos reservatórios de Gramame-Mamuaba, Marés, poços do manancial do Buraquinho, Conde e Jacumã.

Existe uma semelhança gráfica entre os cenários de desenvolvimento Pessimista (1,20%) e Normal (3,36%), a partir de janeiro de 2010 as diferenças entre estes dois cenários começam a passar dos dois pontos percentuais, chegando a 24,66 pontos de diferença em janeiro de 2026.

De acordo com a Figura 7.9 apresentado pelo modelo de simulação, e com a série hidrológica proposta, após agosto 2009 as demandas não serão mais atendidas em sua totalidade, apenas num período muito chuvoso proposto 2017, entre maio e dezembro, as demandas serão atendidas em 100% num cenário Pessimista (1,20%) de crescimento do turismo. Observa-se que nesse período chuvoso proposto para 2017, numa perspectiva de cenário Otimista de desenvolvimento turístico, a cobertura máxima será de 61,96% da demanda turística prevista para o período.

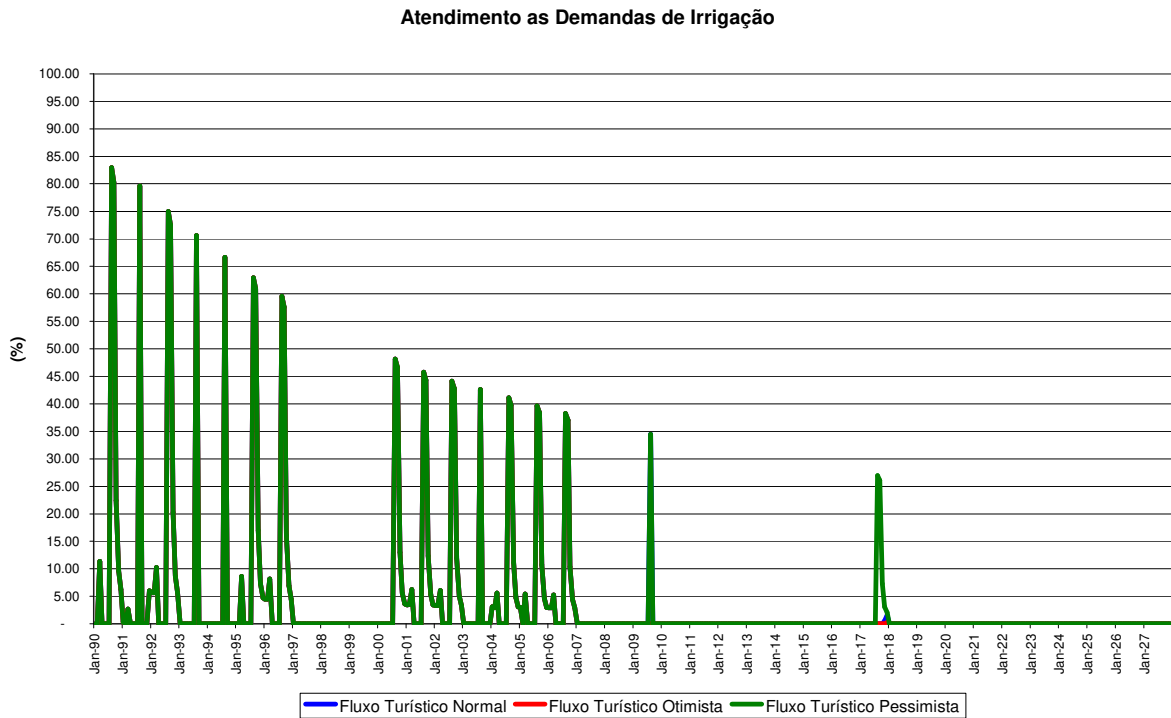
Num cenário de desenvolvimento Normal (3,36%), a curto prazo, observa-se que num regime de chuvas normais em março de 2010 à cobertura da demanda turística no mês de agosto será de 85,64% para o cenário Pessimista, 83,48% no cenário Normal e 78,41% no cenário Otimista.

Para o cenário Normal, verifica-se um pico de 98,47% em agosto de 2017, na seqüência, outro pico ocorre em agosto de 2021 com 84,29% de cobertura, o último pico apresentado pelo gráfico é de 76,89%, no mês de agosto de 2025, em seguida verifica-se uma queda constante.

Ao final do período simulado, em 2027, observa-se que à cobertura às demandas apresentam seus menores valores no início do ano, sendo de 58,56% no mês de fevereiro para o cenário Pessimista, 45,63% no cenário Normal e 17,70% no cenário Otimista.

Observando a Figura 7.9, mesmo com uma perspectiva de desenvolvimento Normal do turismo os números apresentados podem representar uma barreira no crescimento do setor turístico. Os valores de cobertura às demandas apresenta uma queda constante e progressiva, o que aponta uma necessidade de observação maior no que tange a infraestrutura para o desenvolvimento turístico.

### 7.4.8 Irrigação



**Figura 7.10 – Atendimento as demandas de irrigação (%)**

Na Figura 7.10 está representada a cobertura das demandas do atendimento à irrigação. Observa-se que, já nos primeiros anos de funcionamento do reservatório Gramame-Mambuaba, a cobertura às demandas de irrigação não apresenta resultados de 100%, isso não ocorre em nenhum período simulado. A maior cobertura apresentada é de 82,96%, registrado em agosto de 1990, após esse período verifica-se que há um decréscimo constante na confiabilidade de atendimento. No mês de agosto de 1996 a cobertura é de 62,93%; No mês de dezembro do mesmo ano, a cobertura é de 4,49%. Na seqüência, a simulação não apresenta distribuição de água para a irrigação, devido ao período de escassez hídrica entre os anos de 1997 a 1999. O modelo de simulação só disponibiliza água para ser distribuída na irrigação novamente, em agosto de 2000, com cobertura no atendimento de 48,16%.

Em dezembro de 2006 a cobertura no atendimento a irrigação é de apenas 2,88%, na seqüência de meses seguinte a cobertura tem valor zero. No ano de 2009, no mês de agosto observa-se um pico de 34,44% na cobertura as demandas de irrigação nos cenários Pessimista e Normal.

Apenas no cenário de desenvolvimento turístico Pessimista a confiabilidade retorna, com apenas 26,92% de confiabilidade em agosto de 2017, fechando o ano com confiabilidade de 2,03% em dezembro. Após esse período a confiabilidade é zero até o final da simulação.

### **7.5 Afluxos e defluxos do sistema Gramame-Mamuaba**

As Figuras 7.11; 7.12 e 7.13 mostram o comportamento das entradas e saídas de água no reservatório Gramame-Mamuaba, nos três cenários de desenvolvimento turístico Pessimista, Normal e Otimista respectivamente. Verifica-se que o modelo de simulação tende a realizar uma distribuição equitativa dos recursos hídricos. Todas as entradas de água no reservatório são distribuídas para os locais de demanda e, também, são liberadas para a manutenção da vazão no rio a jusante do reservatório, desde que o volume não esteja na zona inativa.

O modelo de simulação apresenta nos seus resultados de afluxos e defluxos e dois parâmetros distintos: um de aumento do armazenamento e outro de redução do armazenamento. A diferença entre o armazenamento inicial e o armazenamento final em cada mês é registrado como pode ser observado nas Figuras.

### Afluentes e Defluentes do Reservatório Gramama-Mamuaba Cenário de Crescimento Pessimista

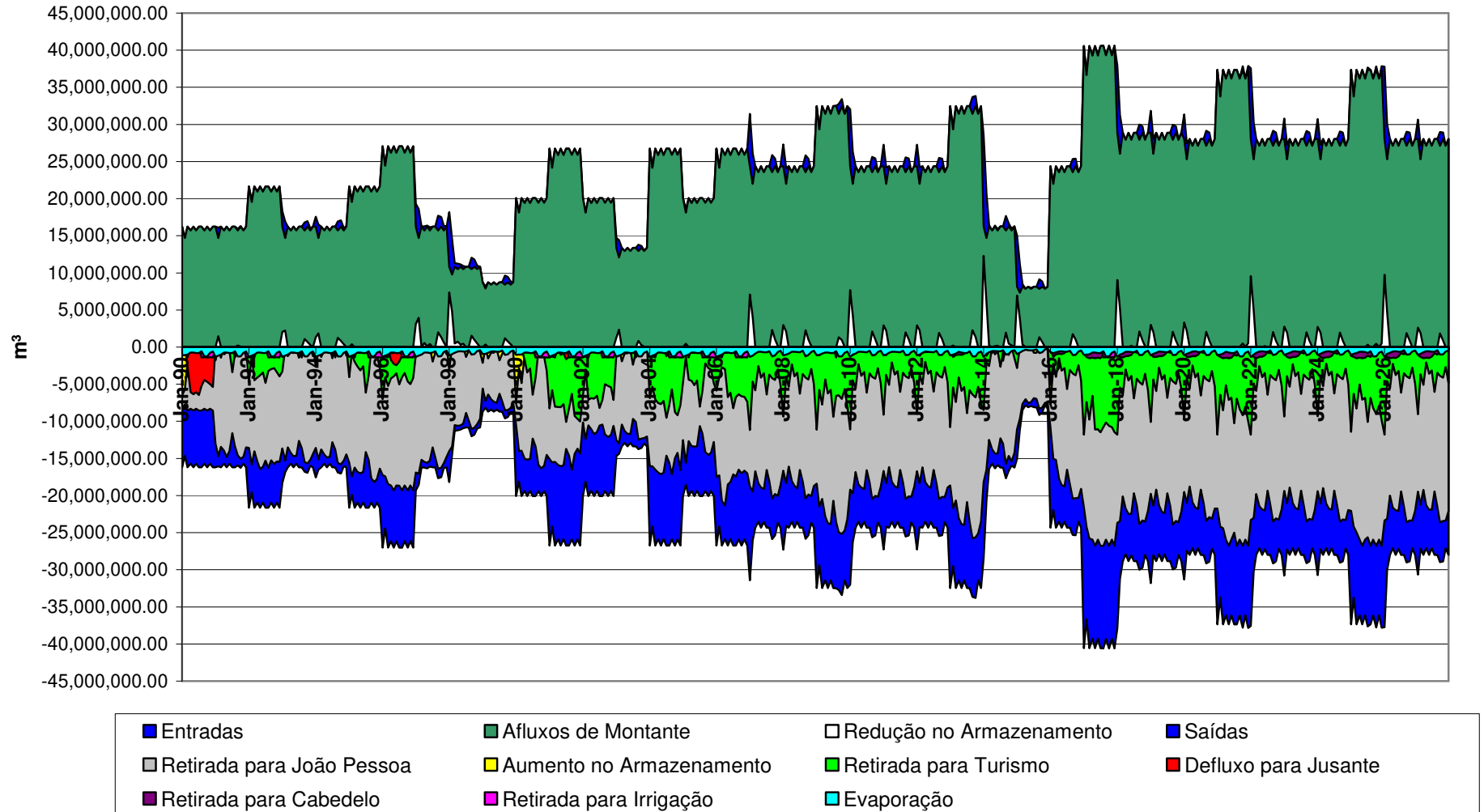


Figura 7.11 – Afluentes e defluentes do reservatório Gramama-Mamuaba no cenário de desenvolvimento Pessimista

### Afluxos e Defluxos do Reservatório Gramama-Mamuaba Cenário de Crescimento Normal

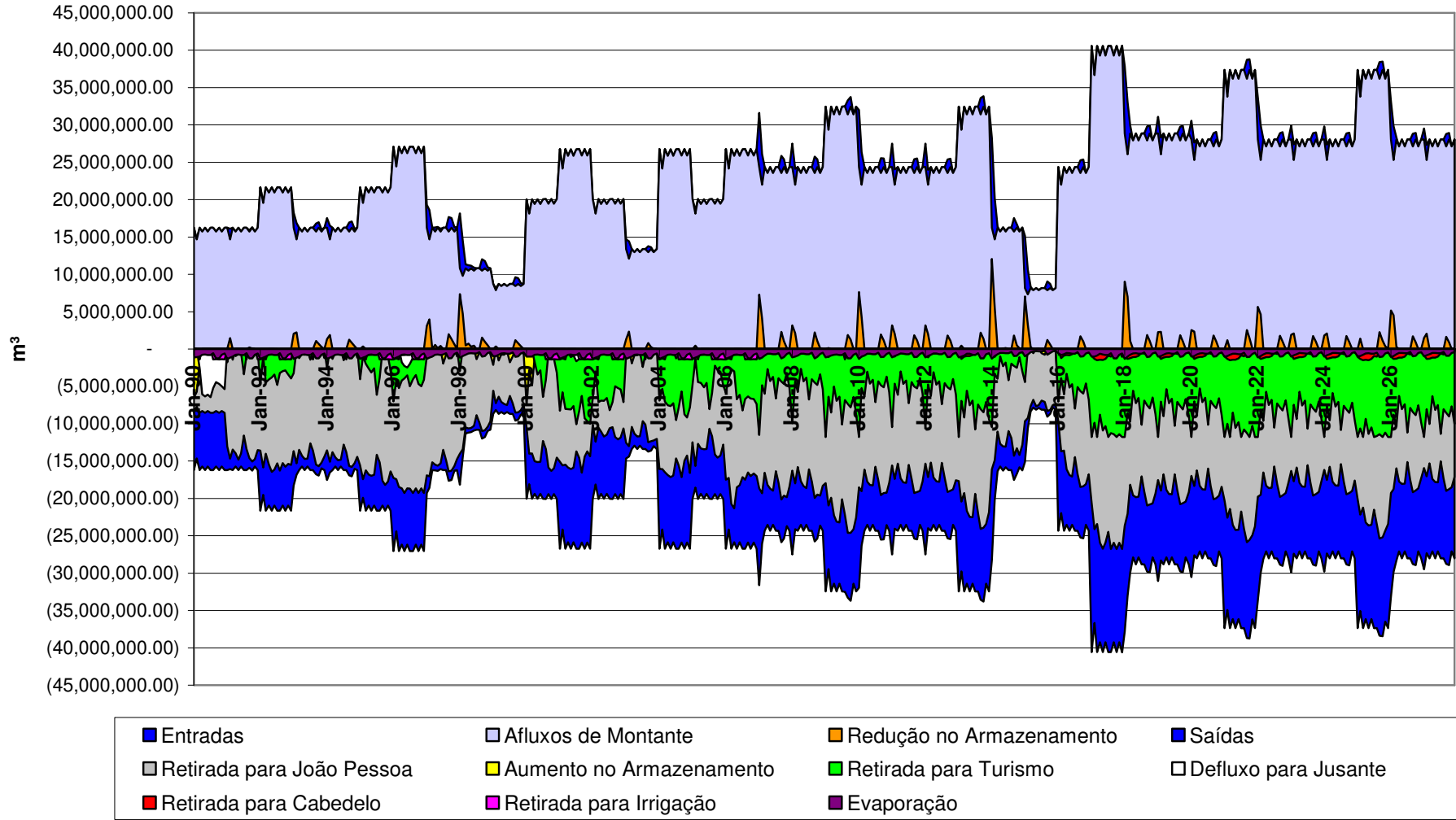


Figura 7.12 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba no cenário de desenvolvimento Normal

### Afluxos e Defluxos do Reservatório Gramama-Mamuaba Cenário de Crescimento Otimista

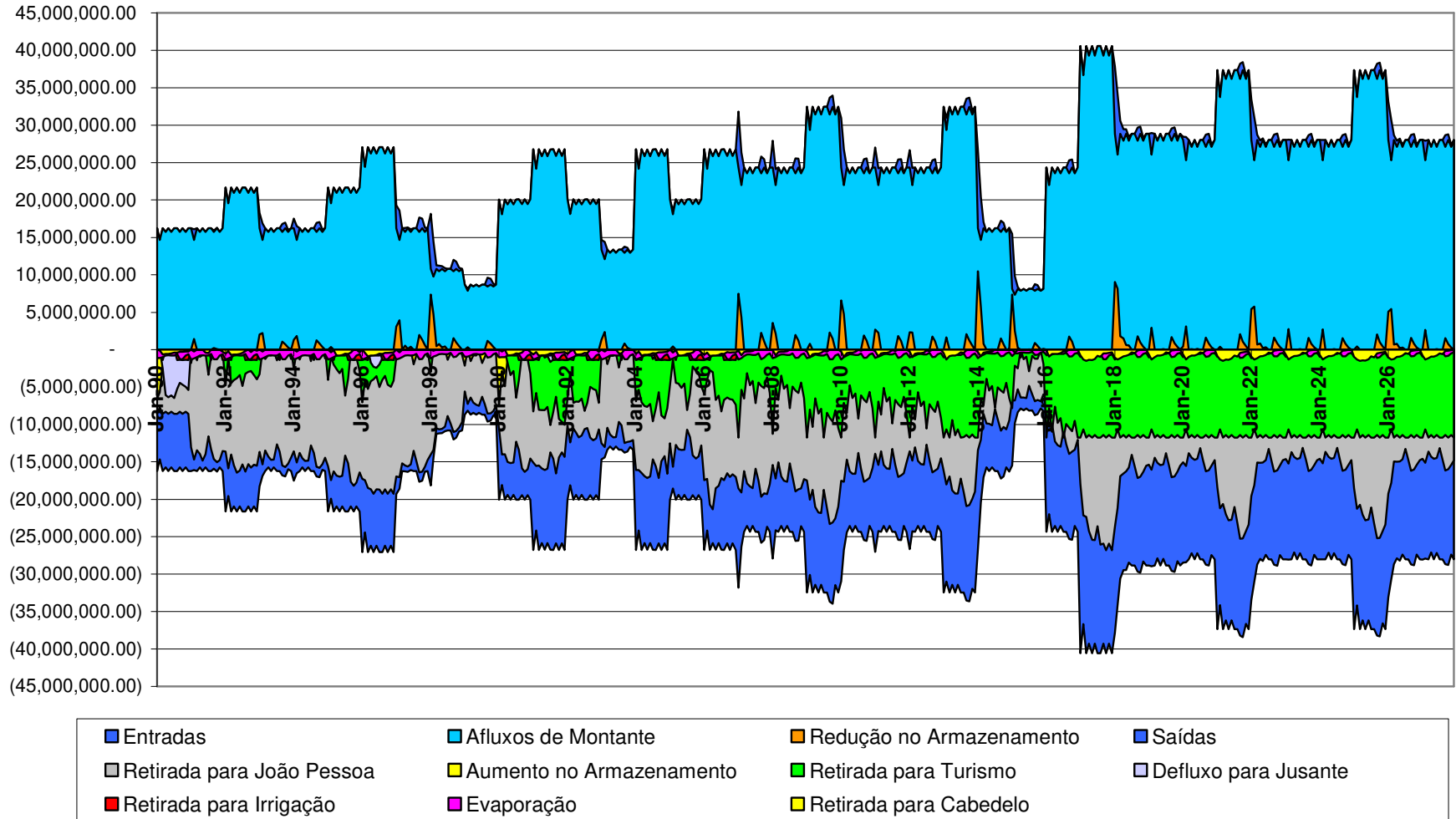


Figura 7.13 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba no cenário de desenvolvimento Otimista



O modelo de simulação mostra que a potencialidade hídrica das sub-bacias do Rio Gramame e do Rio Mamuaba, juntas, tem uma média de 293.384.956,15 m<sup>3</sup> por ano, uma vazão média de 9,3 m<sup>3</sup>/s.

Para o cenário de crescimento Pessimista, apresentado pela Figura 7.11, a cidade de João Pessoa consome 64,88% da água do reservatório, a transposição de águas para Marés é feita com 10,16%. A cidade de Cabedelo e o Turismo consomem respectivamente, 1,80% e 14,90% das águas do reservatório. A taxa de armazenamento é de 2,35%, e a irrigação consome 1,15%. A evaporação e o defluxo são respectivamente, 3,88% e 0,88%.

A Figura 7.12 mostra que no período simulado entre 1990 e 2027, em média 59,83% das águas do reservatório são destinadas para abastecimento da cidade de João Pessoa, a transposição para o reservatório de Marés é de 11,40%. A cidade de Cabedelo consome 1,63% da água do reservatório e o fluxo turístico é responsável por consumir 19,07%. Apenas 2,27% ficam armazenados no reservatório e 1,12% é destinado para a irrigação. As perdas por evaporação ficam em 3,80% e o defluxo é da ordem de 0,89%.

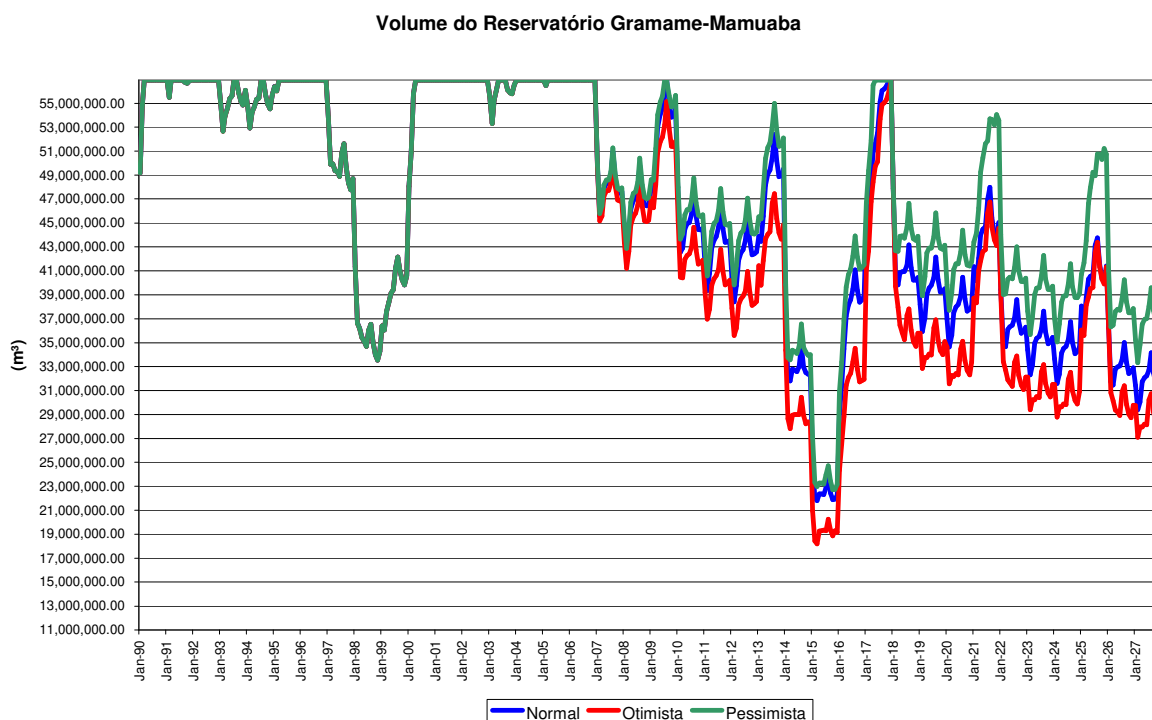
O período entre 1990 e 2027 para o cenário de crescimento Otimista, apresentados na Figura 7.13, mostra que em média 55,74% das águas do reservatório Gramame-Mamuaba são alocadas para abastecimento da cidade de João Pessoa, 10,63% são transpostas para o reservatório de Marés. A cidade de Cabedelo consome 1,43%, o Turismo consumirá 24,24% de toda a água do reservatório. O reservatório acumula 2,23% em média, e o consumo devido à irrigação é de 1,10%. A perda por evaporação tem uma taxa de 3,75% e a o defluxo é, em média, 0,88%.

## **7.6 Reservatórios**

### **7.6.1 Reservatório Gramame-Mamuaba**

O atendimento às demandas, na simulação feita, foram realizadas de acordo com a disponibilidade hídrica e a capacidade da infra-estrutura existente, inclusive sendo utilizados os poços como fonte de fornecimento de água para o abastecimento.

O reservatório de Gramame-Mamuaba trabalha com um canal de ligação entre eles, o que permite que ambos tenham o mesmo nível de água nos reservatórios, conseqüentemente o volume é contabilizado pela soma dos dois reservatórios. Os volumes mensais do reservatório Gramame-Mamuaba são representados na Figura 7.14:



**Figura 7.14 – Volume do reservatório Gramame-Mamuaba (m<sup>3</sup>)**

Observando a Figura 7.14 verifica-se que, com o aumento das demandas existe uma clara tendência de deplecionamento volumétrico do reservatório, não apresentando condições de atender às demandas futuras.

Verifica-se, a partir do início de sua operação, que há um período inicial onde ocorre um aumento no volume das águas armazenadas no reservatório tendo sua capacidade máxima atingida em março de 1990. Verifica-se, também, uma redução no seu volume no período de seca registrado entre 1998 a 1999.

A Figura 7.14 aponta, a partir de 2007, o início da variação dos volumes a cada mês. As maiores diferenças entre os volumes armazenados nos três cenários começam a apresentar-se mais acentuadas a partir de março de 2010, quando o nível do reservatório no cenário Pessimista tem volume de 77,48% da capacidade máxima, no cenário Normal 75,37% e num cenário Otimista de desenvolvimento turístico, 70,97%. É importante lembrar que o volume de alerta do reservatório foi estipulado em 50% da capacidade total. Com os valores apresentados pelo modelo de simulação, o nível do reservatório apresenta valores satisfatórios no ano de 2010.

No período de 2015, onde foi proposto um período de escassez hídrica, observa-se que, para os três cenários, o reservatório entra em colapso, tendo sua menor capacidade registrada no mês de março, sendo de 31,98% a capacidade de armazenamento no Cenário Otimista, no mesmo mês, para o Cenário Normal esse valor sobe para 38,39%, e para o

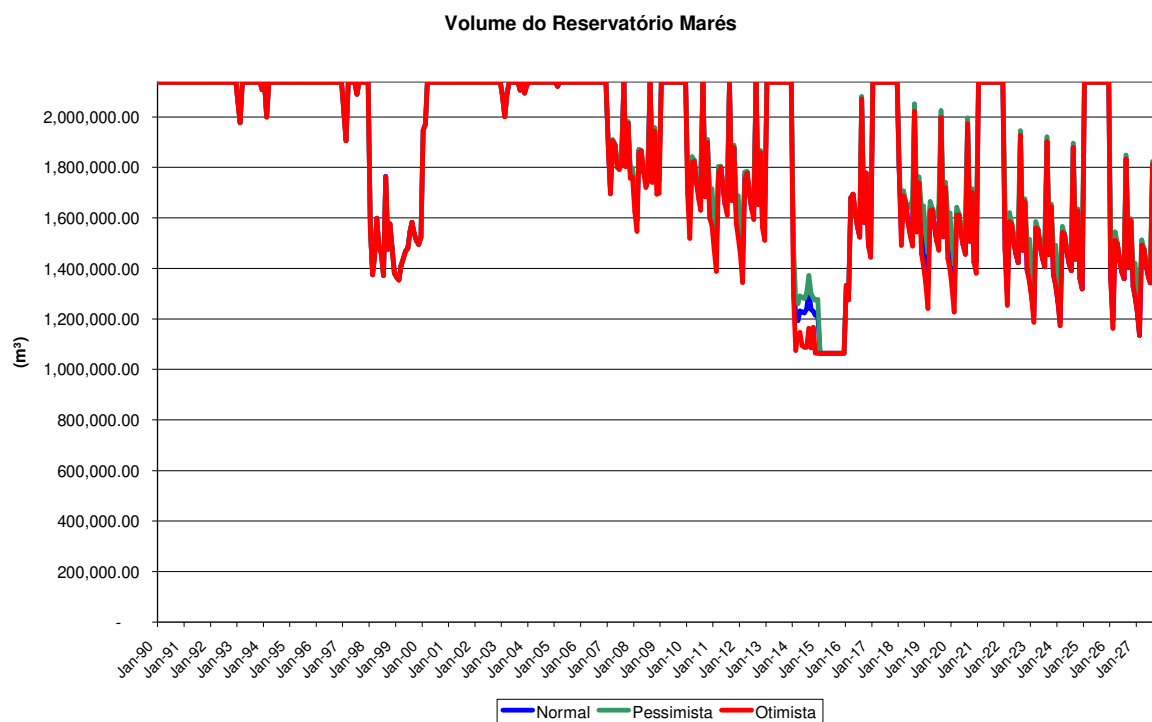
Cenário Pessimista de desenvolvimento turístico, o armazenamento é de 40,37%. Nas três situações de desenvolvimento os níveis do reservatório ficarão em situação crítica, dificultando o atendimento a todas as demandas.

Com o período Muito Chuvoso estipulado para 2017, logo após o período seco, observa-se que o reservatório retorna a ter níveis satisfatório em todos os cenários propostos. Os menores valores são observados no mês de janeiro, onde no Cenário Otimista o armazenamento é de 72,16%, no Cenário Normal 79,27% e no Cenário Pessimista 81,97%. Verifica-se também, que nos três cenários propostos o reservatório atinge sua capacidade máxima, sendo esse valor obtido no mês de maio, para o Cenário Pessimista, no Cenário Normal, no mês e novembro, e para o Cenário Otimista de desenvolvimento turístico, apenas no mês de dezembro.

Observa-se, também, que a partir 2018 e nos anos que se sucedem, nos três cenários de desenvolvimento turístico proposto, o reservatório matem sua capacidade de armazenamento com níveis superior ao nível de alerta, que é de 50% da capacidade. Apenas no final da simulação, em outubro de 2027, no Cenário Otimista é que a simulação demonstra que o reservatório atinge a capacidade de 49,97%.

### 7.6.2 Reservatório Marés

Os resultados apresentados para o reservatório de Marés são apresentados na Figura 7.15:



**Figura 7.15 - Volume do reservatório Marés (m<sup>3</sup>)**

Observa-se que, com o aumento da demanda, há um aumento na frequência e intensidade da variação volumétrica do reservatório, com uma tendência de redução do volume acumulado médio. Também não há variações no volume do reservatório comparando os três cenários de desenvolvimento. No entanto, verifica-se que ele permanece mais tempo em sua capacidade máxima, isto se deve ao fato de que o reservatório de Marés receber água do reservatório Gramame-Mamuaba, além da captação numa barragem de nível localizada no rio Mumbaba.

Em um período pluviométrico estipulado como Normal, porém com a perspectiva de demandas elevadas, como o ano de 2014, o gráfico aponta uma queda acentuada no armazenamento chegando a 58,98% da sua capacidade no Cenário Pessimista, no mês de março, para o Cenário Normal, no mesmo mês, a capacidade é de 55,84%, e para o Cenário Otimista, 53,21% da capacidade do reservatório. Pela simulação, o reservatório tem armazenamento máximo, no mês de janeiro, que varia de 69,99% no Cenário Pessimista, até 60,39% da capacidade no Cenário Otimista.

Para o período de déficit hídrico, estimado para 2015, verifica-se que o reservatório trabalha com volume de 49,80% da sua capacidade, esse valor apresentado em termos percentuais é o volume de 1.064.100,00 m<sup>3</sup>.

A partir de agosto de 2016 o reservatório começa a aumentar o volume armazenado, sofrendo variações normais ao longo do ano, atingindo 96,91% em agosto.

A Figura 7.15 mostra que o reservatório apresenta períodos de volume máximo, entre os meses de fevereiro e dezembro, nos anos de 2017, 2021 e 2025. De acordo com os cenários pluviométrico estimados, esses anos são anos chuvosos.

Verifica-se também que para os anos de cenário pluviométrico Normal a partir de 2018 há uma redução progressiva na capacidade de armazenamento devido ao aumento das demandas.

## 7.7 Indicadores de desempenho

Para o estudo dos índices de desempenho dos reservatórios, a cota de 50% da capacidade máxima é adotada pela CAGEPA como sendo o nível de limite, ou seja, abaixo deste valor o reservatório encontra-se em estado de alerta, ou, em estado de falha, por isso, para a análise de desempenho será feita, também, adotando essa cota.

**Tabela 7.11 – Resultados da simulação do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2007 a 2027**

	Pessimista	Normal	Otimista
M <sub>s</sub>	240	240	227
M <sub>f</sub>	12	12	25
M <sub>f-s</sub>	1	1	4
Déficit Hídrico total (hm <sup>3</sup> )	57,74	70,38	120,41

M<sub>s</sub> – Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado satisfatório

M<sub>f</sub> – Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado de falha

M<sub>f-s</sub> – Quantidade de meses que o sistema estando em estado de falha, entra no mês seguinte em estado satisfatório.

Com o resultado da simulação para o reservatório, foi possível calcular os indicadores de desempenho (Confiabilidade, Resiliência, Vulnerabilidade e Índice de Sustentabilidade Geral) e as demandas separadamente, que se encontram na Tabela 7.14 abaixo.

**Tabela 7.12 – Indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2007 a 2027 para os cenários de Crescimento Turístico Pessimista, Normal e Otimista**

Indicadores de Desempenho	Pessimista	Normal	Otimista
Confiabilidade	95,24%	95,24%	90,08%
Resiliência	8,33%	8,33%	16,00%
Vulnerabilidade	16,90%	20,60%	16,92%
Índice de Sustentabilidade Geral	6,60%	6,30%	11,97%

Na Tabela 7.12 sendo mantida a estrutura atual da rede de distribuição de abastecimento de água da Grande João Pessoa, observa-se que a confiabilidade do sistema

mantém, praticamente o mesmo nível para todos os cenários de desenvolvimento turístico. É importante considerar que para o estudo realizado, o tempo de permanência média do turista é de no máximo três dias, ou seja, não há por parte do fluxo turístico uma grande demanda de água.

A resiliência, capacidade de recuperação do sistema, aponta valores não muito satisfatórios. A semelhança entre os valores dos cenários Pessimista e Normal se deve ao número de falhas, que são os mesmos e em igual período, na seca proposta no ano de 2015, quando os reservatórios apresentam a capacidade de armazenamento inferior a 50%. Coincidentemente, a recuperação, em ambos cenários, se dá ao final do mesmo ano. No Cenário Otimista o valor da resiliência cresce, ao contrário do que era esperado, isso se deve ao número de vezes que o sistema retoma a condição de armazenamento superior a 50%, porém, observando atentamente a Figura 7.14, verifica-se que o reservatório, ao longo dos anos que se sucedem, mantém seu nível frequentemente próximo a metade da capacidade do reservatório, esse nível só é obtido apenas em períodos estipulados com chuvosos. Verifica-se também que, esses valores de capacidade de recuperação são consequências diretas de dois fatores: o primeiro decorrente da taxa de infiltração, devido a porosidade do solo da bacia, e, também, em função das perdas por evaporação do reservatório. O segundo fator que implica na baixa resiliência são os volumes retirados para o atendimento às demandas.

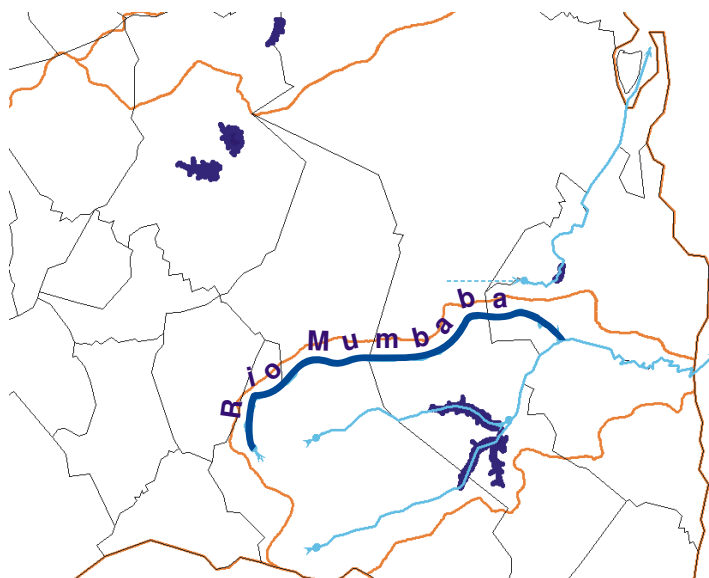
A magnitude dos déficits do período simulado, ou seja, a vulnerabilidade do sistema apresenta valores próximos nos cenários mais opostos, 16,90% para o Cenário Pessimista, e 16,92% para o Cenário Otimista. Essa aproximação é inversamente proporcional ao número de falhas apresentadas, e, diretamente proporcional ao percentual apresentado pelo déficit hídrico, ou seja, mesmo apresentando mais falhas, no cenário de maior desenvolvimento turístico, o percentual de falta de água para atender às demandas, não foram elevadas suficientemente para causar uma vulnerabilidade maior. Verifica-se que nesses dois cenários as alocações de água apresentam valores muito próximos.

## **7.8 A implantação do reservatório Mumbaba**

Segundo Silva (2002), existe uma possibilidade de implantação de um reservatório no rio Mumbaba, com capacidade de armazenamento de 41,35 Mm<sup>3</sup>, com a regularização de vazão estimada em 1,6 m<sup>3</sup>/s. Considerado a hipótese de construção desse reservatório no encontro entre os Rios Mumbaba e Gramame, e seguindo os mesmos cenários hidrológicos apresentados na Tabela 7.10, foi simulada a contribuição e o comportamento desse novo

reservatório no sistema para auxiliar no abastecimento de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita e na demanda Turística, com início de operação estipulado para 2010.

A figura 7.16 mostra em destaque a localização do rio Mumbaba na bacia hidrográfica do rio Gramame.



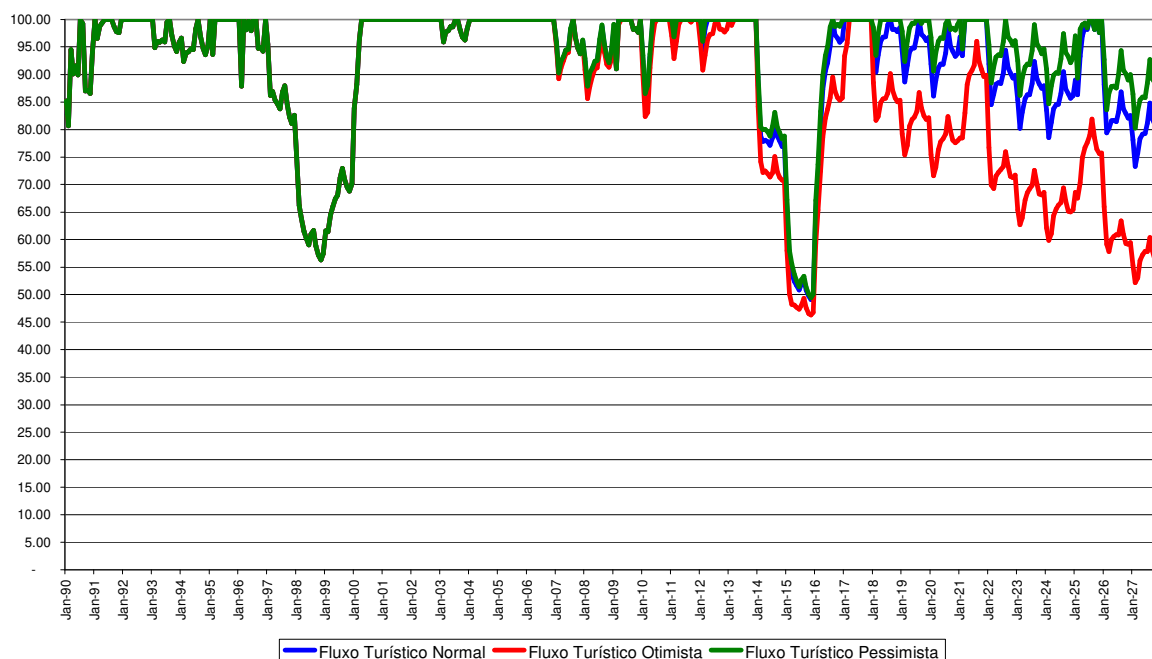
**Figura 7.16 – Representação da bacia do rio Gramame, em destaque o rio Mumbaba**

### **7.8.1 Atendimento as demandas**

Foram observadas também na simulação o atendimento as demandas que receberiam a contribuição do aporte de águas acumuladas no reservatório Mumbaba, conforme as próximas seções.

### 7.8.1.1 João Pessoa

Atendimento as Demandas de João Pessoa com a contribuição do Reservatório Mumbaba (%)



**Figura 7.17 – Atendimento as demandas da cidade de João Pessoa com a contribuição do reservatório Mumbaba (%)**

A cidade de João Pessoa, local de maior demanda dos reservatórios, apresenta um aumento na sua confiabilidade de atendimento às demandas hídricas, chegando a apresentar um aumento máximo de 25,57 pontos percentuais, quando comparados os valores apresentados nas Figuras 7.3 e 7.17. No ano de 2010, a confiabilidade no cenário Pessimista sai de 89,89% para 100,00 % no mês de julho, para o mesmo mês, no cenário de desenvolvimento Normal, o percentual sai de 88,97% para 100,00%. O cenário de desenvolvimento Otimista tem um crescimento menor, sai 86,23% para 99,34%.

Verifica-se que em junho de 2013, ano adotado com sendo chuvoso, nos cenários Pessimista e Normal, com 96,23% de confiabilidade, e no cenário Otimista com 92,84%, com a implantação do reservatório Mumbaba, a confiabilidade atinge o valor máxima em todos os cenários.

Para o ano de 2015, adotado como sendo um ano muito seco, verifica-se que a confiabilidade no atendimento as demandas num período hidrológico seco apresenta ganhos percentuais não muito expressivos. Nos cenários propostos, as menores confiabilidades são observadas sempre no mês de novembro. No cenário Pessimista tem-se 49,42% , no cenário Normal 49,08% e no cenário Otimista 46,32%, os aumentos em pontos percentuais são 8,39; 8,06 e 6,75, respectivamente para cada cenário.

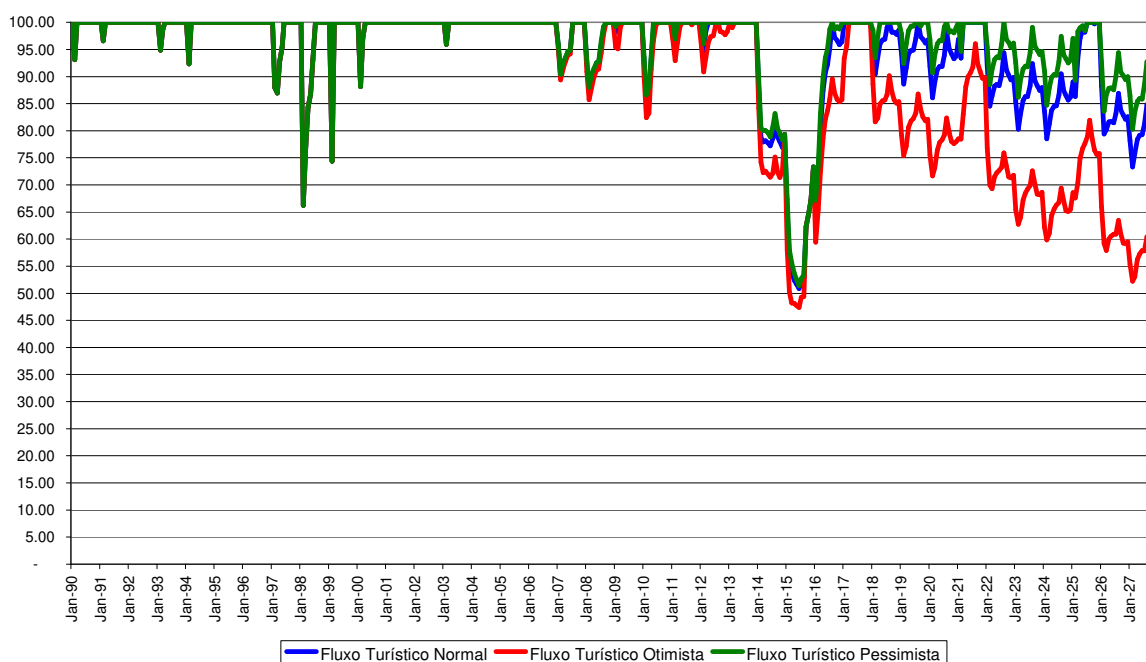


Em um ano hidrológico muito chuvoso, proposto para 2017, são registrados maiores ganhos percentuais nos cenários. Observa-se que a partir do mês de março em todos os cenários de desenvolvimento turístico a confiabilidade é de 100,00%. Sendo um ano hidrológico rico em precipitações, a confiabilidade no atendimento passa a plenitude com o reservatório Mumbaba.

Para o ano de 2027, último ano da simulação, verifica-se que em janeiro, mês de menor ganho de confiabilidade, apresenta-se com 86,41% no cenário Pessimista, 78,13% no cenário Normal e 55,33% no cenário Otimista, ganhos de 13,91; 14,23 e 3,10 pontos percentuais, respectivamente.

### 7.8.1.2 Cabedelo

Atendimento as Demandas de Cabedelo com a contribuição do Reservatório o Mumbaba (%)



**Figura 7.18 – Atendimento as demandas da cidade de Cabedelo com a contribuição do reservatório Mumbaba (%)**

A cidade de Cabedelo também apresenta um aumento na confiabilidade no atendimento as demandas. Observa-se que em fevereiro de 2025 é registrado o maior ganho de pontos percentuais no cenário de desenvolvimento Pessimista, com uma taxa de 46,40 pontos percentuais, a confiabilidade sai de 42,93% e atinge 89,33%. Para o cenário turístico Normal a maior variação percentual na confiabilidade é registrada em fevereiro de 2021, quando o resultado sai de 49,09% para e 93,40%. No cenário de desenvolvimento turístico Otimista, a maior variação percentual é registrada em fevereiro de 2017, quando a

confiabilidade sai de 56,14% para 95,70%, um ganho de 39,56 pontos com a contribuição do reservatório Mumbaba.

No ano de 2013, adotado com sendo um ano chuvoso, verifica-se que para quase todos os cenários de desenvolvimento turístico, a confiabilidade no atendimento as demandas do município de Cabedelo tem valor máximo. A exceção é registrada no mês de fevereiro, quando a confiabilidade é de 98,99%.

Para o período hidrológico muito seco, de 2015, os ganhos são bastante representativos, principalmente nos meses de maior insolação. No mês de janeiro observa-se que no cenário Pessimista há um ganho de 19,71 pontos, a confiabilidade sai de 47,57% para 67,28%. No cenário Normal o ganho é de 20,63 pontos, a confiabilidade sai de 44,48% e passa a ser 65,11%. No cenário Otimista de desenvolvimento turístico o ganho percentual é de 17,85 pontos, sendo inicialmente a confiabilidade no atendimento de 40,13% passando a 57,99%. Uma observação importante a ser feita é que entre os meses de setembro a dezembro não há mudanças na confiabilidade.

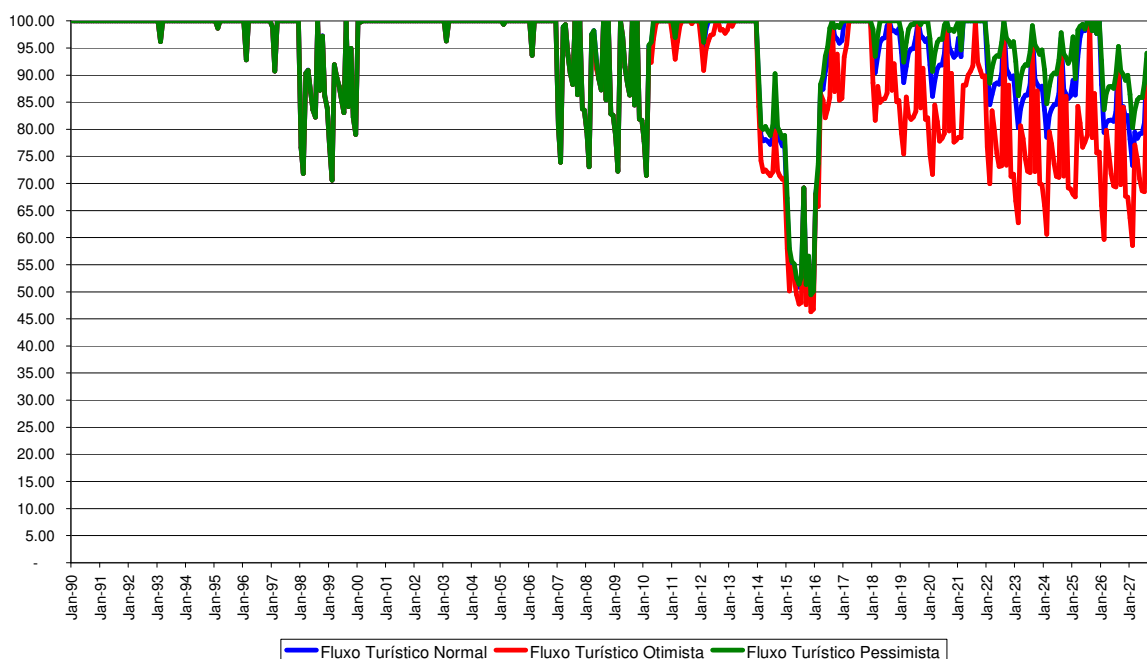
Para o ano de 2017, considerado muito chuvoso, observa-se que para quase todos os cenários a confiabilidade é de 100,00%. No cenário de desenvolvimento Otimista, os meses de janeiro e fevereiro apresentam confiabilidade de 93,35% e 95,70%, respectivamente.

O ano de 2027, para o cenário turístico Pessimista o menor ganho percentual é registrado no mês de junho, com 20,81 pontos, a confiabilidade sai de 65,00% para 85,81%. No cenário Normal, a confiabilidade no atendimento a demanda varia de 55,76% para 78,37%. No cenário Otimista a variação percentual é de 3,96 pontos, sendo a confiabilidade 49,10% e com o auxílio do reservatório Mumbaba passa a ter confiabilidade 53,06%.

Uma observação importante é que nos meses de janeiro, fevereiro e março o município de Cabedelo sofre um aumento populacional em função do grande número de residência utilizada apenas para o veraneio, durante os outros meses do ano essas residências ficam desocupadas. Por esta razão as demandas são maiores nos meses de verão mais intenso.

### 7.8.1.3 Bayeux

Atendimento as Demandas de Bayeux com a contribuição do Reservatório Mamuaba (%)



**Figura 7.19 – Atendimento as demandas da cidade de Bayeux com a contribuição do reservatório Mumbaba (%)**

A Figura 7.19 apresenta muitas variações quando comparadas com a Figura 7.5, verifica-se que em todos os cenários de desenvolvimento turístico a distribuição de água para atendimento as demandas apresentam ganhos de até 33,96 pontos percentuais, registrado em fevereiro de 2017.

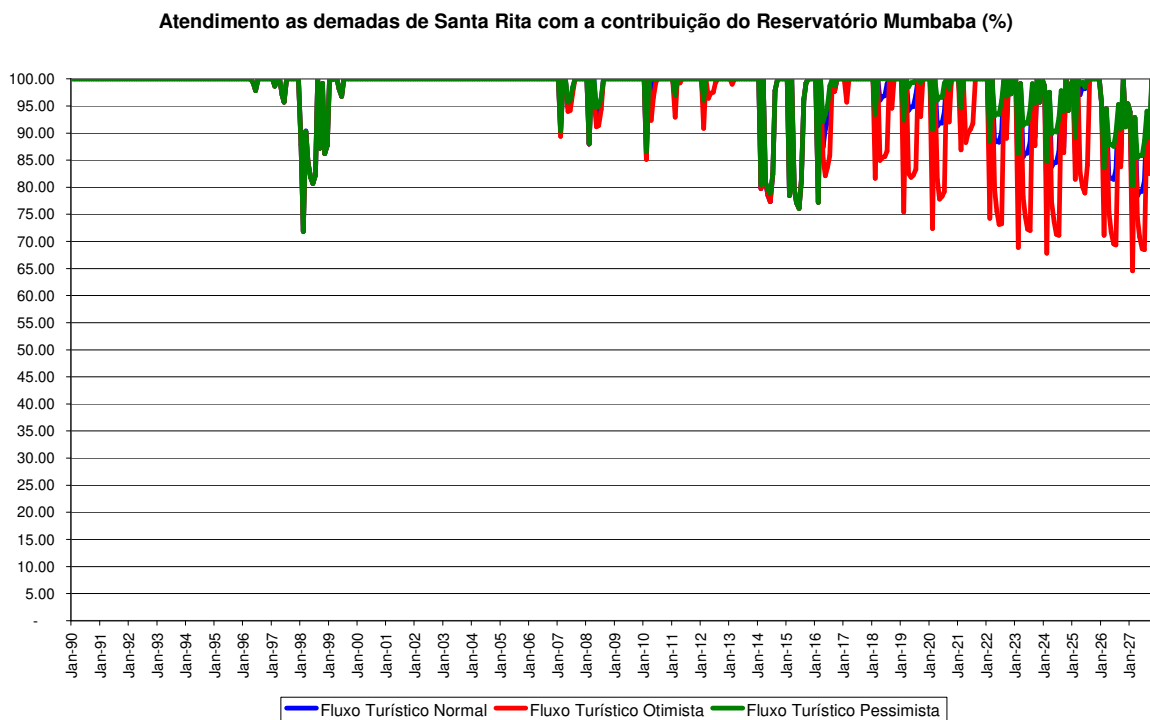
No período hidrológico muito seco, proposto para 2015, verifica-se que o mês de janeiro apresenta os maiores ganhos. No cenário de desenvolvimento turístico Pessimista o atendimento as demandas passa 67,27% de cobertura, um ganho de 19,71 pontos percentuais. No cenário turístico Normal o atendimento é de 65,10%, sendo registrado um aumento de 20,63 pontos percentuais. No cenário Otimista, o ganho é de 15,46 pontos, a confiabilidade no atendimento passa a 57,98%.

No período hidrológico muito chuvoso, proposto para 2017, observa-se que a confiabilidade no atendimento as demandas é de 100,00% quem quase todos os cenários, a exceção é registra no cenário otimista nos meses de janeiro e fevereiro, sendo a confiabilidade de 93,34% e 95,70% respectivamente.

No ano de 2027 observa-se que no mês de janeiro são apontados os maiores aumento percentuais com a contribuição do reservatório Mumbaba, para os cenários de crescimento turístico Pessimista, Normal e Otimista são registrados 24,56; 20,65 e 6,14

pontos percentuais respectivamente, o que corresponde a uma confiabilidade de 86,41%, 78,13% e 63,62%, também respectivamente.

#### 7.8.1.4 Santa Rita



**Figura 7.20 – Atendimento as demandas da cidade de Santa Rita com a contribuição do reservatório Mumbaba (%)**

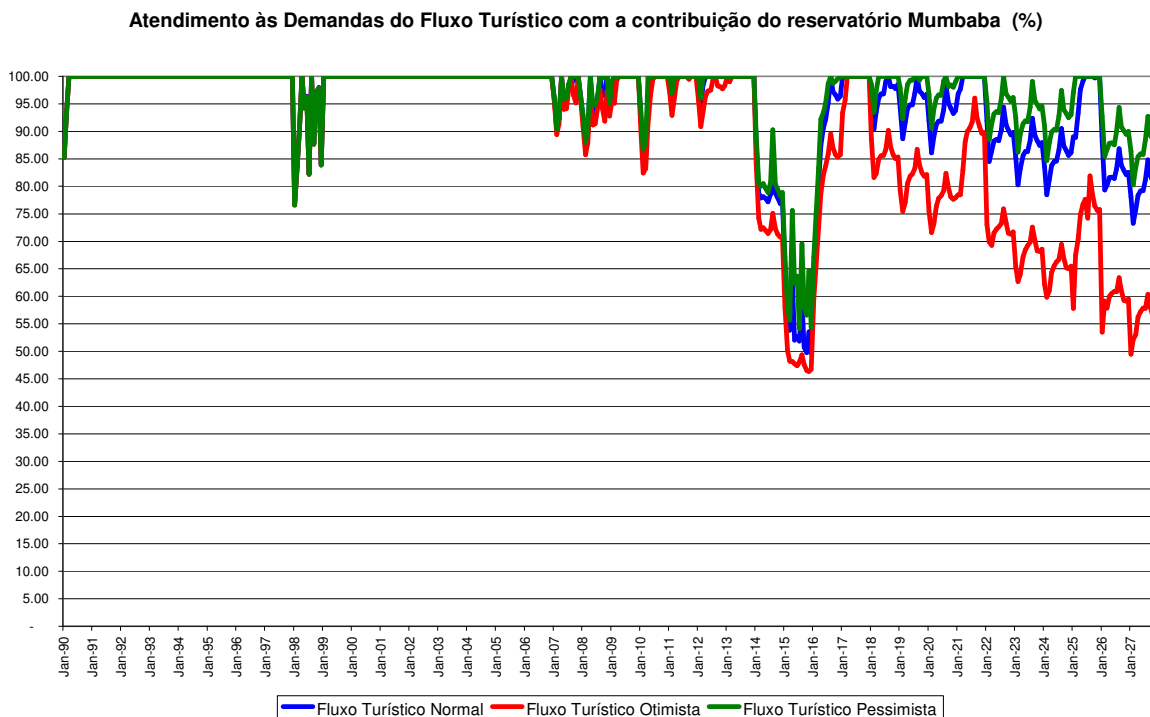
A Figura 7.20 demonstra grandes variações, quando comparadas a Figura 7.6. Os ganhos percentuais mais significativos surgem no ano de 2010, no mês de maio verifica-se que a confiabilidade no atendimento as demandas nos cenários Pessimista, Normal e Otimista é, respectivamente, 16,30; 15,37 e 12,91 pontos percentuais.

O ano de 2015, período hidrológico adotado com sendo muito seco, não observa-se nenhuma variação na confiabilidade.

O ano de 2017, final da simulação, quando é adotado um período hidrológico normal, observa-se que o maior ganho é no mês de julho, quando a confiabilidade de atendimento as demandas registram: 88,43% no cenário Pessimista, 81,17% no cenário de desenvolvimento turístico Normal e 68,46% no cenário Otimista.

Observa-se que os ganhos na confiabilidade de atendimento a demanda não apresenta muitas variações, pois grande parte do abastecimento da cidade de Santa Rita é feita através de poços.

### 7.8.1.5 Turismo



**Figura 7.21 – Atendimento as demandas ao Fluxo Turístico com a contribuição do reservatório Mumbaba (%)**

A confiabilidade no atendimento as demandas para o fluxo turístico sofre variações significativas com a implantação do reservatório Mumbaba, comparando a Figura 7.21 e a Figura 7.9, verifica-se o registro de valores que apresentam uma variação de até 55,37 pontos percentuais.

No primeiro ano, em 2010, a confiabilidade no atendimento as demandas turísticas no mês de janeiro é de 93,51% no cenário Pessimista, 92,45% no cenário Normal, e 89,88% no cenário Otimista, respectivamente o ganho em pontos percentuais são: 18,91; 20,23 e 23,15.

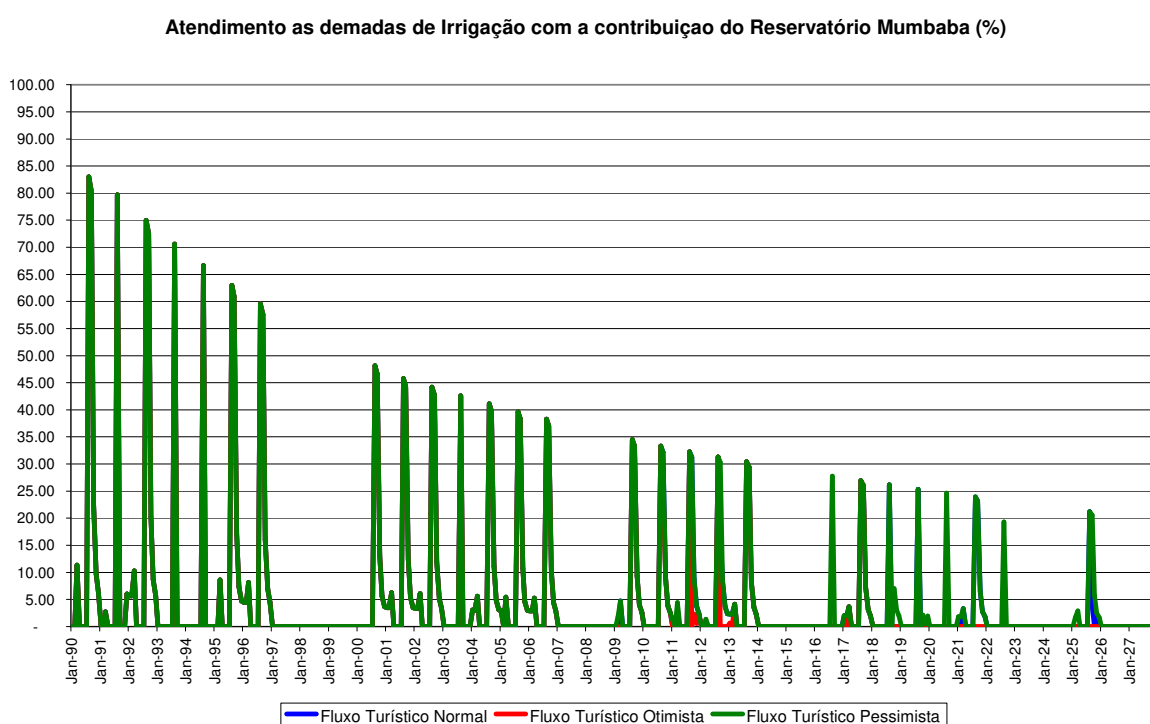
Na previsão de período hidrológico muito seco, de 2015, as variações têm valores consideráveis. No mês de janeiro, período do ano onde o fluxo turístico é intenso, observa-se que no cenário Pessimista a confiabilidade sai de 32,55% para 67,27%, no cenário Normal a demanda é atendida em 65,10% quando antes era de 31,62%, no cenário de desenvolvimento turístico Otimista o ganho é de 30,36 pontos percentuais, pois a confiabilidade sai de 27,61% para 57,98%.

No período hidrológico proposto como sendo muito chuvoso, em 2017, verifica-se que em quase todos os cenários a confiabilidade é de 100,00%. O mês de janeiro e fevereiro,

quando a presença de turistas é maior na Grande João Pessoa, a confiabilidade é de 93,34% e 95,70% respectivamente, ganhos percentuais de 54,71 e 45,39 pontos.

No horizonte de projeto, as menores confiabilidades são registradas no mês de fevereiro, sendo 80,29% no cenário Pessimista, 73,30% no cenário Normal e 52,16% no cenário Otimista. As maiores confiabilidade são registradas no mês de agosto, sendo: 92,72%, 84,82% e 60,39% para os cenários de desenvolvimento turístico Pessimista, Normal e Otimista, respectivamente.

### 7.8.1.6 Irrigação



**Figura 7.22 – Atendimento as demandas a Irrigação com a contribuição do reservatório Mumbaba (%)**

A confiabilidade no atendimento as demandas para a irrigação, a partir da implantação do reservatório Mumbaba, passaria a ter um atendimento mais confiável. Quando comparadas as Figuras 7.22 e 7.10 observa-se que as culturas irrigadas da Grande João Pessoa poderiam ser melhor atendidas.

No ano de 2010, no mês de agosto, observa-se que a confiabilidade é de 33,27% nos três cenários de desenvolvimento turístico, quando antes, sem a contribuição do reservatório Mumbaba, a confiabilidade não apresenta valor.

O ano de 2015, período adotado como muito seco em precipitações de água, verifica-se que não ocorre atendimento as demandas.

Em 2017, período adotado como sendo hidrologicamente muito chuvoso, o mês de janeiro, no cenário Pessimista e Normal, apresentam 2,03% de confiabilidade no atendimento, não sendo registrado atendimento no cenário Otimista. No mês de agosto é registrada a confiabilidade de 26,92% nos três cenários de desenvolvimento turístico.

O horizonte de projeto de 2027 não são registrados valores de confiabilidade no atendimento as demandas de irrigação.

### **7.8.2 Afluxos e defluxos do reservatório Mumbaba**

### Afluentes e Defluentes do Reservatório Mumbaba Cenário de Crescimento Pessimista

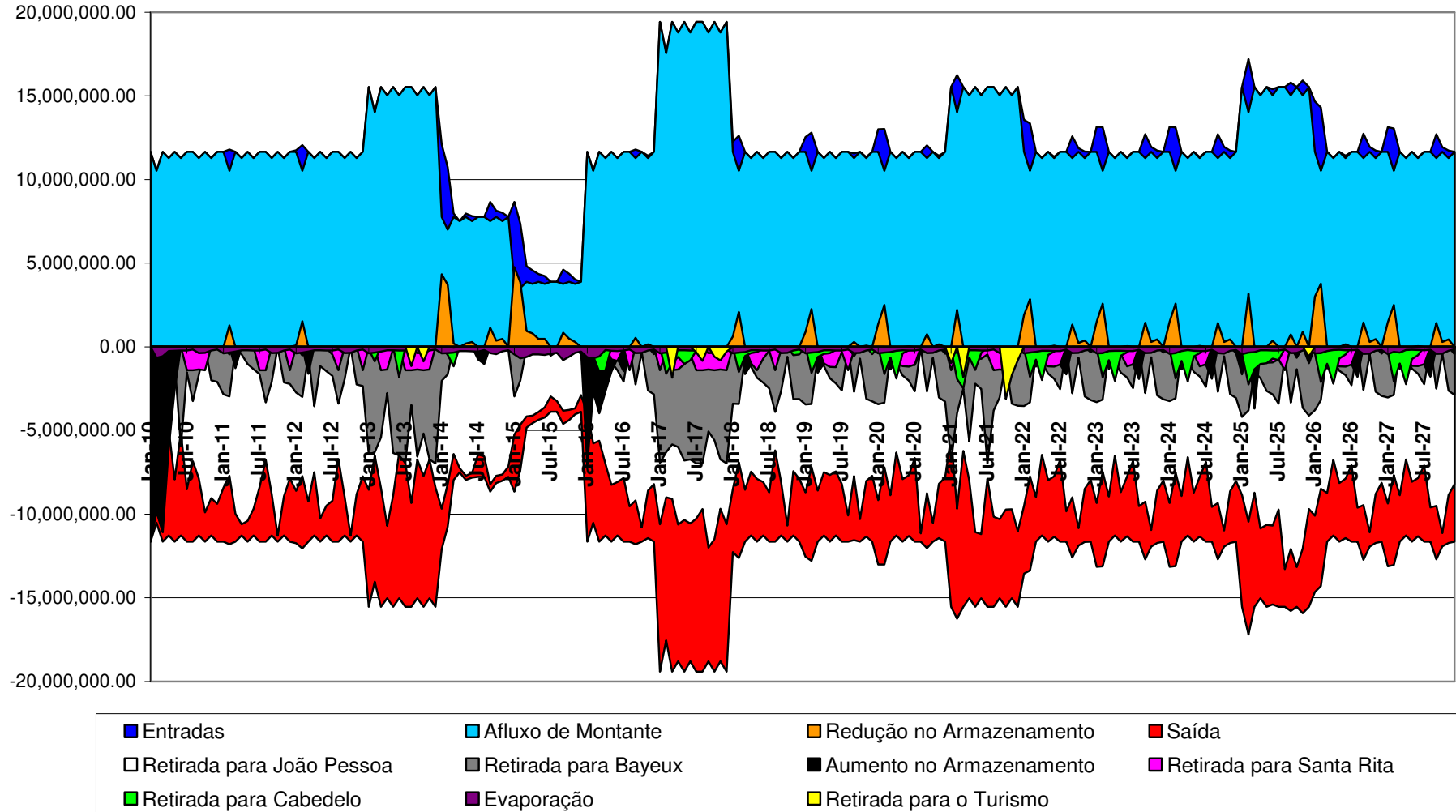


Figura 7.23 – Afluentes e defluentes do reservatório Mumbaba no cenário de desenvolvimento Pessimista



### Afluxos e Defluxos do Reservatório Mumbaba Cenário de Crescimento Normal

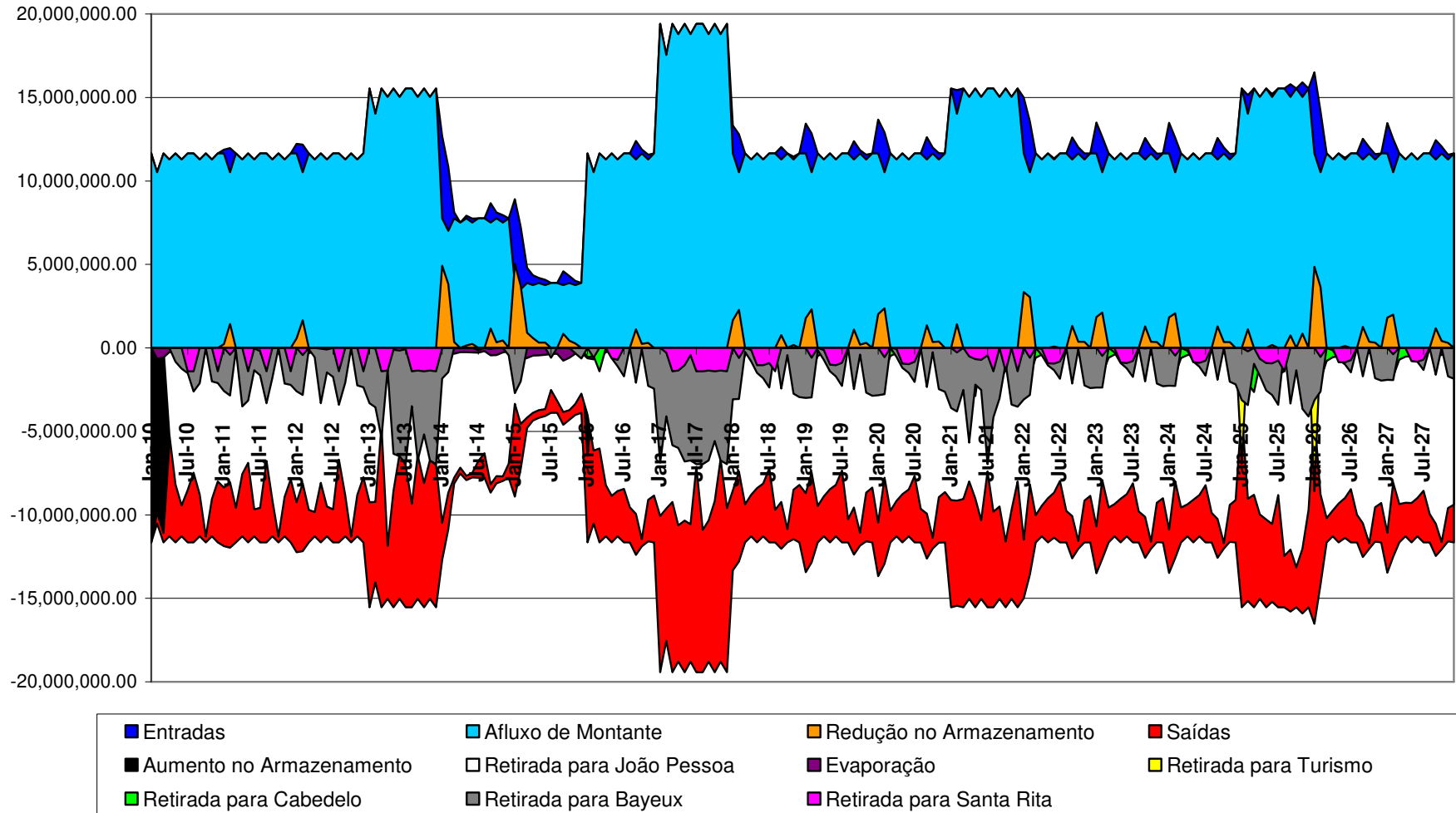


Figura 7.24 – Afluxos e defluxos do reservatório Mumbaba no cenário de desenvolvimento Normal

### Afluentes e Defluentes do Reservatório Mumbaba Cenário de Crescimento Otimista

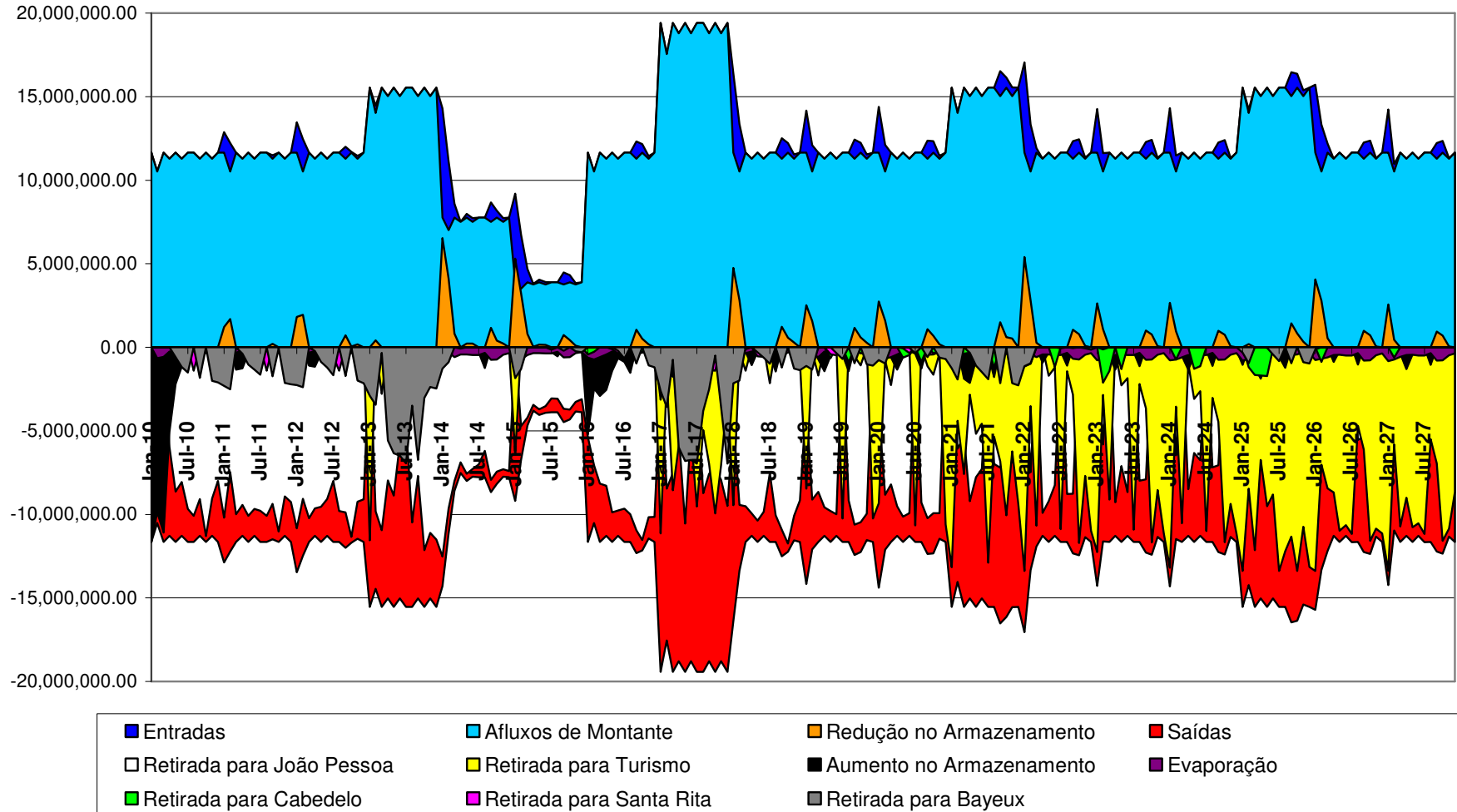


Figura 7.25– Afluentes e defluentes do reservatório Mumbaba no cenário de desenvolvimento Otimista

O modelo de simulação mostra que a potencialidade hídrica média da sub-bacia do Rio Mumbaba é de 170.608.954,77 m<sup>3</sup> por ano, uma vazão média de 5,41 m<sup>3</sup>/s.

As Figuras 7.23; 7.24 e 7.25 mostram respectivamente o comportamento das entradas e saídas de água no reservatório Mumbaba, nos cenários de crescimento Pessimista, Normal e Otimista, tendo sua operação simulada a partir em janeiro de 2010.

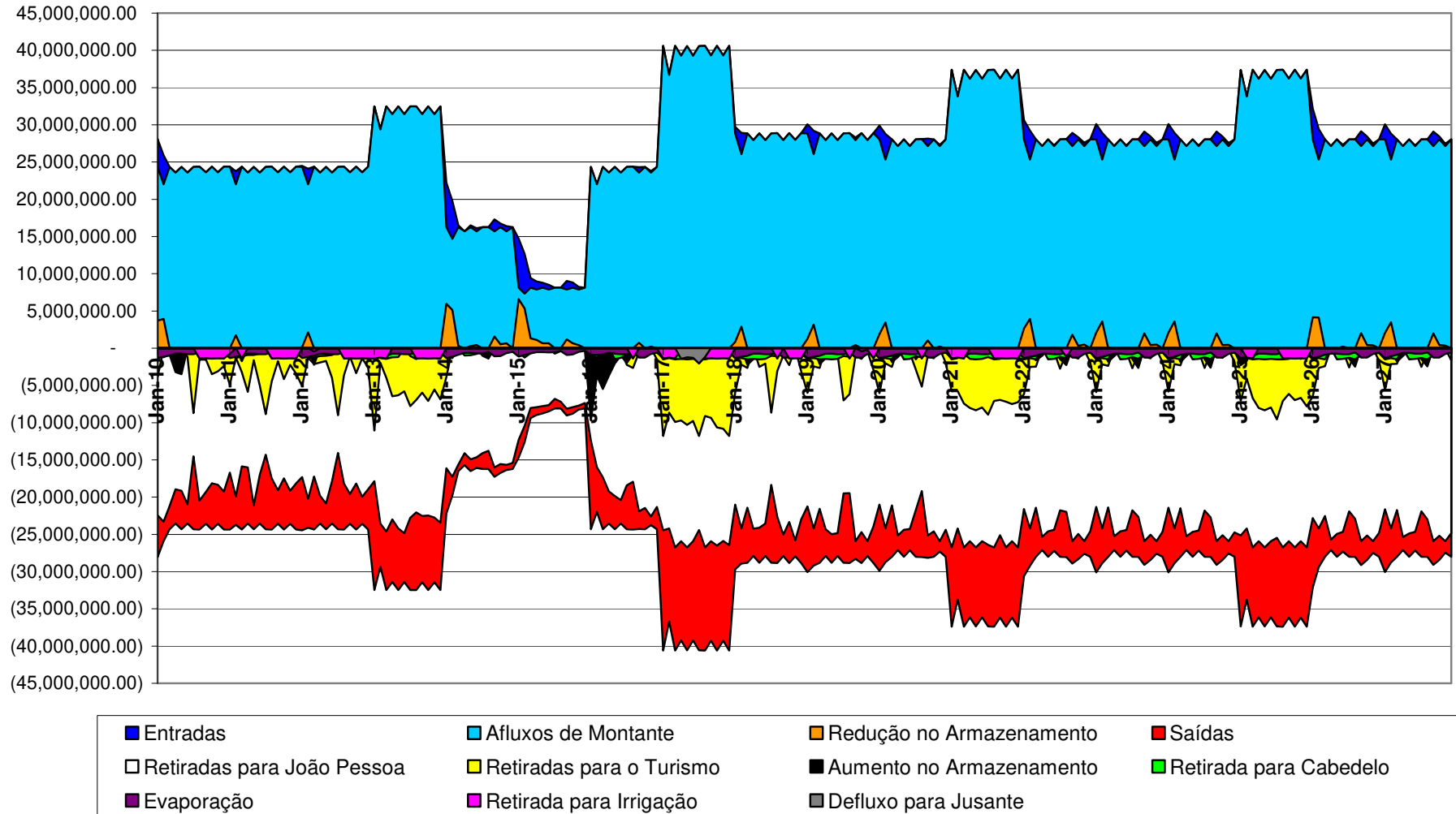
No cenário de crescimento Pessimista, Figura 7.23, as retiradas para atender a cidade de João Pessoa é, em média, 69,11%. A cidade de Bayeux fica com 17,14%, a cidade de Cabedelo consome, apenas 2,61% das águas do reservatório Mumbaba, enquanto que a parcela para atender Santa Rita é de 3,23%. A população flutuante do turismo seria beneficiada com 0,45% da água do reservatório. O aproveitamento para o armazenamento apresenta uma taxa média de 4,74%, as perdas por evaporação representam 2,71%.

Na Figura 7.24, de crescimento Normal do fluxo turístico, a cidade de João Pessoa tem um aproveitamento de 71,88% da água do reservatório Mumbaba, a cidade Bayeux fica com 14,43%. A cidade de Santa Rita recebe 2,58%, Cabedelo fica com 2,01%. O turismo apresenta um consumo de 1,52% dos influxos do Mumbaba. O acumulado armazenado médio apresenta uma taxa de 4,86%, e a evaporação 2,73% do volume dos afluxos.

No cenário de crescimento Otimista, apresentado na Figura 7.25, a cidade de João Pessoa consome, em média, 52,84% das águas do reservatório Mumbaba, a população turística apresenta uma média de consumo de 30,24%. A cidade de Bayeux fica com 6,27% das águas do Mumbaba, e a cidade de Cabedelo mostra uma taxa de 1,54%. Santa Rita fica com 0,84%. A taxa média de armazenamento no reservatório é de 4,75%, e a perda por evaporação apresenta média de 3,52%.

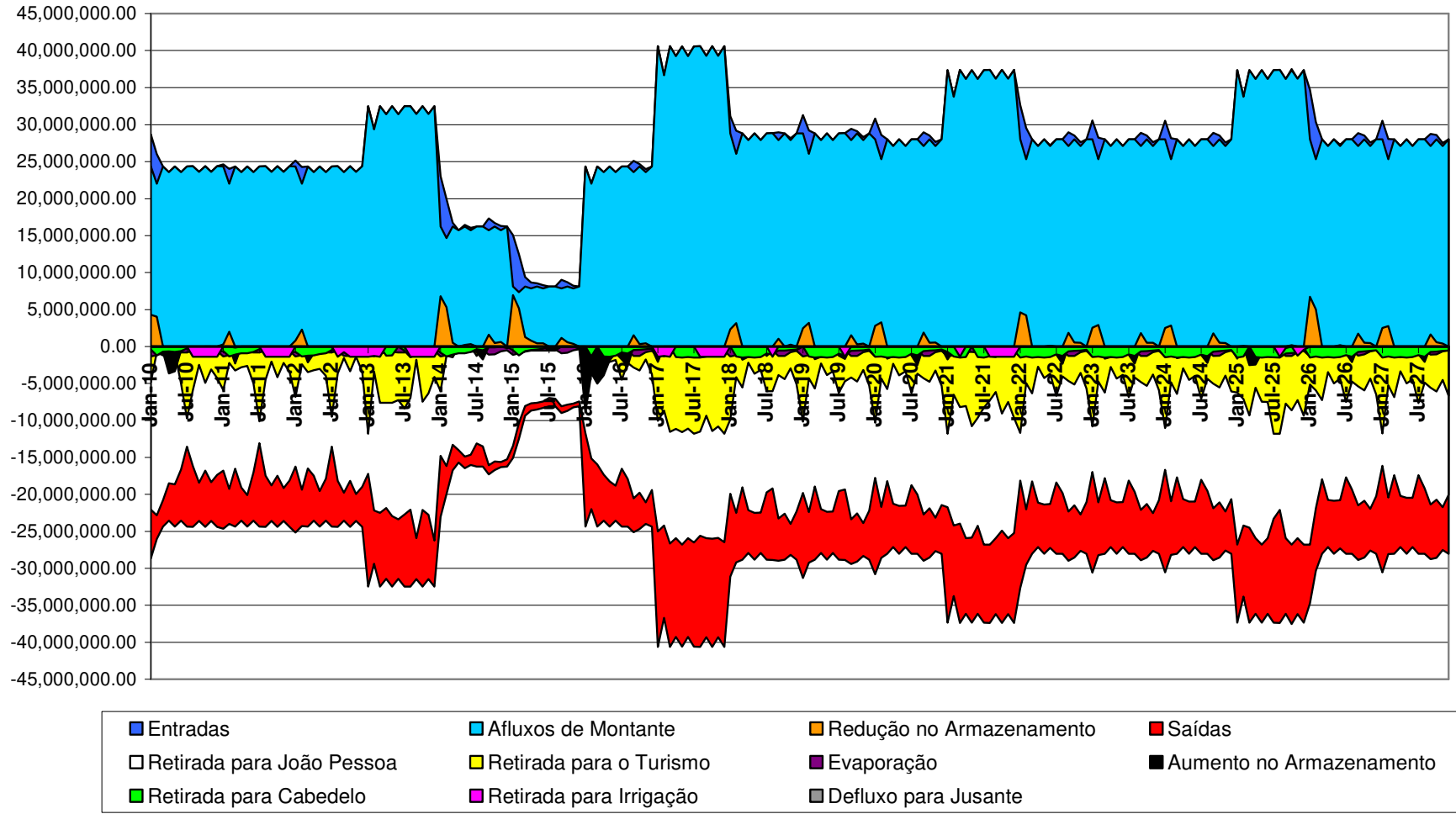
### **7.8.3 Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com Mamuaba operando**

**Afluxos e Defluxos do Reservatório Gramama-Mamuaba  
Cenário de Crescimento Pessimista com Auxílio do Reservatório Mumbaba**



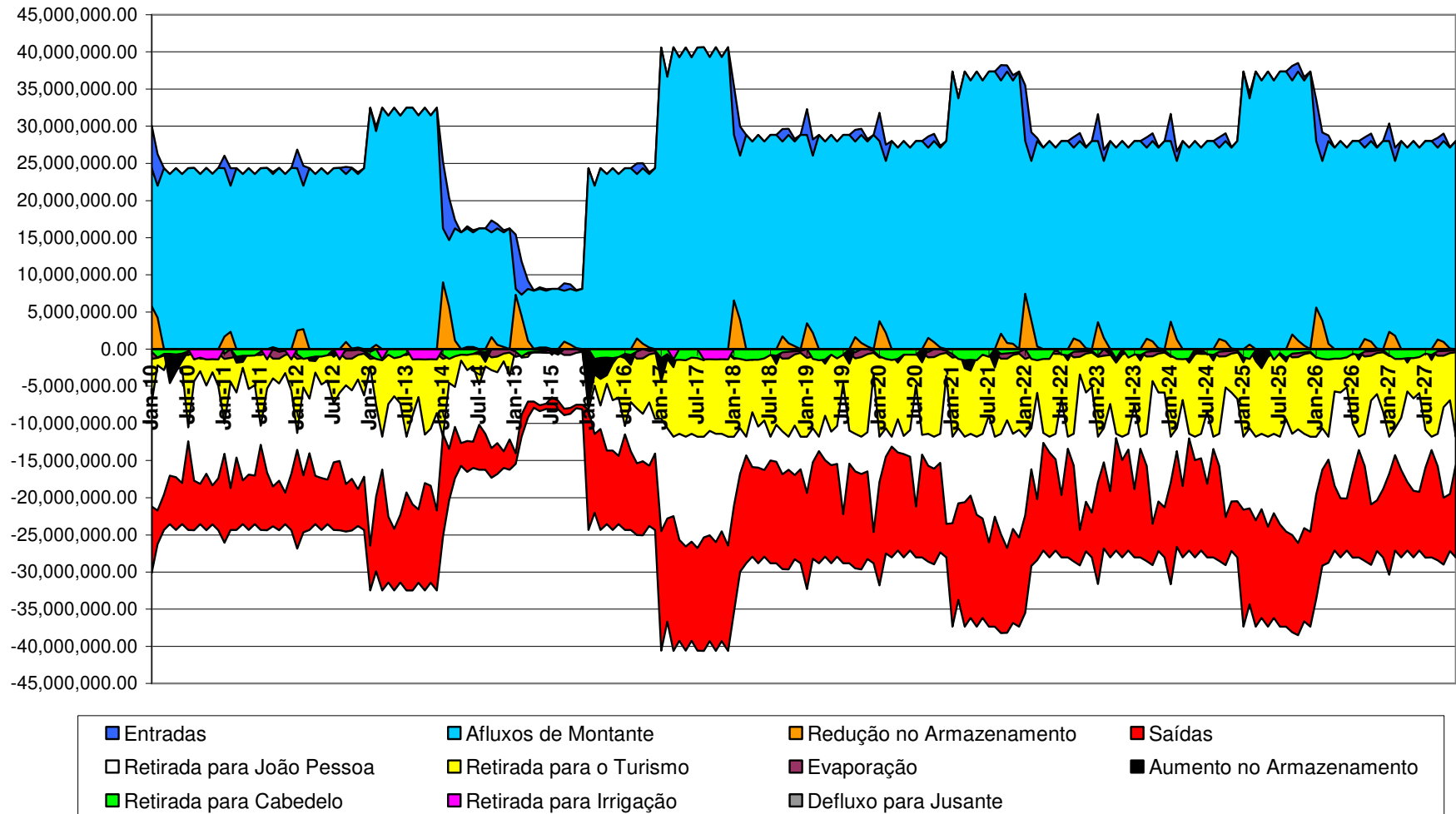
**Figura 7.26 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando no cenário de desenvolvimento Pessimista**

**Afluxos e Defluxos do Reservatório Gramama-Mamuaba  
 Cenário de Crescimento Normal com Auxílio do Reservatório Mumbaba**



**Figura 7.27 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando no cenário de desenvolvimento Normal**

**Afluxos e Defluxos do Reservatório Gramama-Mamuaba  
 Cenário de Crescimento Otimista com Auxílio do Reservatório Mumbaba**



**Figura 7.28 – Afluxos e defluxos do reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando no cenário de desenvolvimento Otimista**

As Figuras 7.26, 7.27 e 7.28 mostram o comportamento das entradas e saídas de água no reservatório Gramame-Mamuaba com o reservatório Mumbaba operando entre janeiro de 2010 a dezembro de 2027.

No cenário de crescimento Pessimista, apresentado na Figura 7.26, a cidade de João Pessoa teve um aproveitamento de 79,95% das águas do reservatório. A cidade de Cabedelo e o Turismo apresentam um aproveitamento de 3,28% e 10,14%, respectivamente. A taxa média de armazenamento no período é de 1,84%, as perdas por evaporação apresentam uma média de 3,48% e o aproveitamento para irrigação, apenas 1,23%.

A Figura 7.27 mostra que o período simulado entre 2010 e 2027 de cenário de crescimento Normal, a cidade de João Pessoa utiliza 73,75% das águas. O fluxo turístico aproveita 16,74% da água do reservatório Gramame-Mamuaba, e a cidade de Cabedelo 3,21%. As perdas por evaporação são de 3,41% e a média de armazenamento acumulado é de 2,01%. A irrigação aproveita, apenas, 0,88% da água do reservatório.

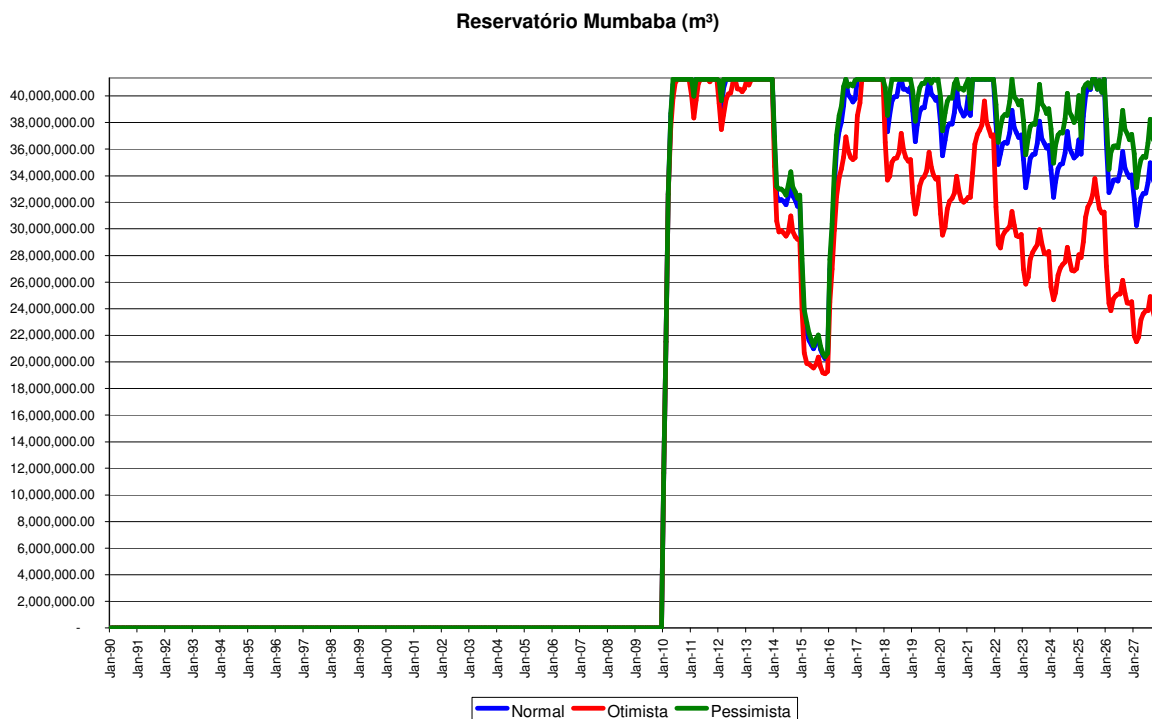
Os valores apresentados para o crescimento Otimista na Figura 7.28, mostram que a cidade de João Pessoa utiliza 64,28% da água do reservatório Gramame-Mamuaba. O fluxo turístico apresenta uma taxa de aproveitamento de 27,71%. A cidade de Cabedelo aproveita apenas 2,39%. As perdas por evaporação apresentam uma taxa de 3,10%, e o acumulado médio no reservatório é de 2,07%. A irrigação fica com 0,45% neste cenário de crescimento.

A Tabela 7.13 mostra as saídas no reservatório Gramame-Mamuaba, no período entre os anos de 2010 e 2027, simulados no WEAP, onde pode ser comparado os aproveitamentos das alocações de água pelos locais de demanda, sem a operação do Mumbaba e com a operação do Mumbaba.

**Tabela 7.13 – Alocações de água do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2010 e 2027 (%)**

Cenário de Crescimento	Sem operação do Mumbaba			Com operação do Mumbaba		
	Pessimista	Normal	Otimista	Pessimista	Normal	Otimista
Retiradas para João Pessoa	63,28	56,72	48,54	79,95	61,95	54,00
Retiradas para Turismo	16,69	25,26	35,59	10,14	16,74	27,71
Retiradas para Cabedelo	2,49	2,13	1,72	3,28	3,21	2,39
Retiradas para Irrigação	0,08	0,02	0,00	1,23	0,88	0,45
Transposição para Marés	12,05	10,80	9,25	12,79	11,80	10,29
Perdas por Evaporação	2,91	2,75	2,66	3,48	3,41	3,10
Armazenamento	2,49	2,33	2,25	1,84	2,01	2,07

#### 7.8.4 O reservatório Mumbaba



**Figura 7.29 – Volume do reservatório Mumbaba (m<sup>3</sup>)**

Com início de operação em 2010, observa-se que o reservatório só inicia o f já no mês de janeiro o acumulo é de 28,18% de sua capacidade nos três cenários de desenvolvimento proposto. No mês de abril verifica-se as diferenças entre os três cenários.

No ano de seca, previsto no ano de 2015, observa-se que nos cenário Pessimista, Normal e Otimista, a menor capacidade de armazenamento é apontada no mês de novembro com 49,30%, 48,96% e 46,20% respectivamente.

No ano hidrológico muito chuvoso, apontado neste trabalho para 2017, a partir do mês de março, até o mês de dezembro, verifica-se que para os três cenários de crescimento turístico, o reservatório mantém 99,76% de sua capacidade de armazenamento máximo.

Após o período chuvoso observa-se a tendência de diminuição do armazenamento, no horizonte de projeto o ano termina com as capacidades de 88,28%, no cenário Pessimista, 80,54% no cenário Normal e 56,46% no cenário Otimista.



### 7.8.4.1 Indicadores de desempenho do reservatório Mumbaba

Para os cálculos dos índices de desempenho, considerando o volume de alerta 50% da capacidade do reservatório, verifica-se, de acordo com a Figura 7.29, que o reservatório mantém-se na maioria dos meses acima do volume de alerta. A exceção é registrada apenas no período estipulado com sendo hidrológicamente muito seco em 2015.

A Tabela 7.14 apresenta os meses em que o reservatório Mumbaba opera nos estados satisfatórios e insatisfatórios.

**Tabela 7.14 – Resultados da simulação do reservatório Mumbaba entre 2010 a 2027**

	Pessimista	Normal	Otimista
$M_s$	212	212	205
$M_f$	4	4	11
$M_{f-s}$	2	2	2
Déficit Hídrico total (hm <sup>3</sup> )	9,36	9,84	19,50

$M_s$  – Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado satisfatório

$M_f$  – Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado de falha

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

Com os valores da Tabela 7.14, calculou-se os indicadores de desempenho do reservatório de Mumbaba, que estão apresentados na Tabela 7.15 abaixo:

**Tabela 7.15 – Indicadores de desempenho do reservatório Mumbaba entre 2010 a 2027**

Indicadores de Desempenho	Pessimista	Normal	Otimista
Confiabilidade	98,15%	98,15%	94,91%
Resiliência	50,00%	50,00%	18,18%
Vulnerabilidade	88,68%	88,11%	91,43%
Índice de Sustentabilidade Geral	5,55%	5,83%	1,48%

De acordo com os índices de desempenho apresentados na Tabela 7.15 observa-se que o reservatório tem confiabilidade alta em todos os cenários, é importante que seja lembrado que esse valor de confiança do reservatório tem como base o volume de alerta.

A resiliência do reservatório Mumbaba apresenta valores médios nos cenários Pessimista e Normal, e baixos no cenário Otimista, ou seja, pode-se dizer que existe uma dificuldade na recuperação dos volumes do reservatório após um período de déficit. Para o cenário Pessimista e Normal a resiliência é de 50,00%, no cenário Otimista o valor cai para 18,18%. Como pode ser verificado na Tabela 7.15, uma contribuição importante para o bom resultado apresentado pela resiliência no cenário Normal é a quantidade de meses em que o reservatório trabalhou em estado de falhas e se recuperou. No cenário Otimista a resiliência apresenta um valor muito baixo para a recuperação do nível do reservatório.

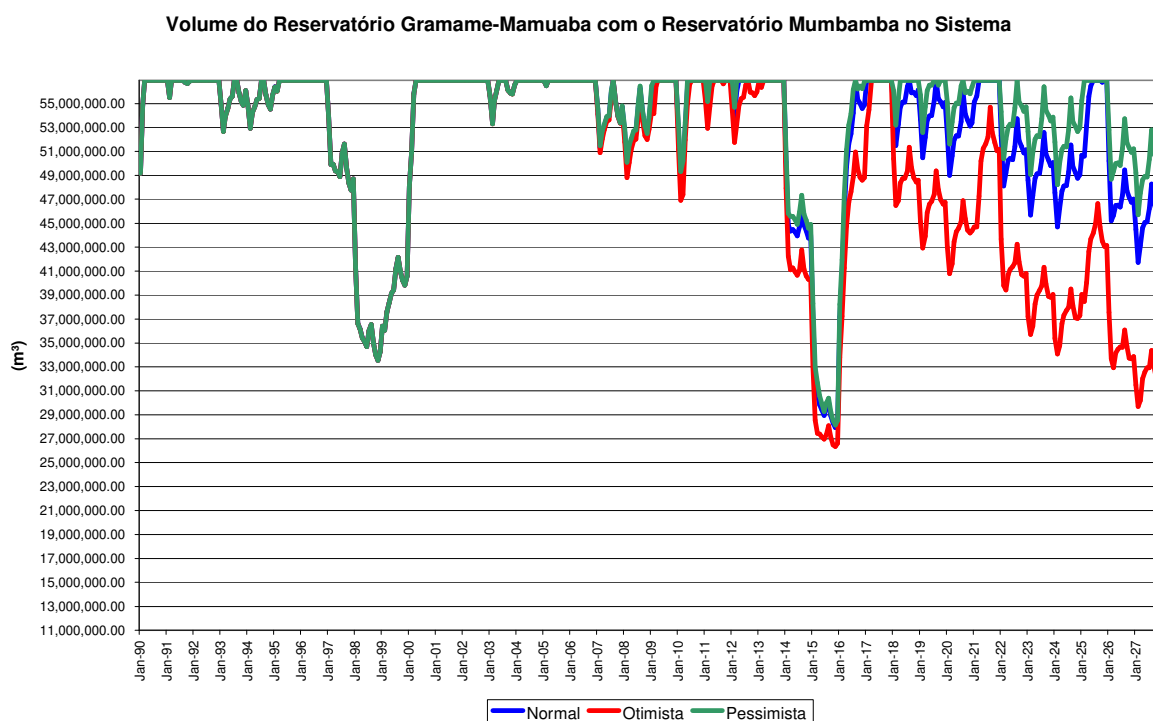
Observando o índice de sustentabilidade geral da Tabela 7.15, verifica-se que a melhor situação para o reservatório Mumbaba é no cenário de desenvolvimento turístico Normal, pois o valor apresentado é de 5,83%. No cenário Pessimista é de, 5,55%, em função

dos valores de resiliência. No cenário Otimista a sustentabilidade geral indica um valor baixo, apenas 1,48%.

### 7.8.5 O reservatório Gramame-Mamuaba

Caso houvesse o início das operações do reservatório Mumbaba em 2010, como é proposto nesse trabalho, haveria uma diminuição nas demandas do reservatório Gramame-Mamuaba.

Sendo mantida as condições do sistema atual do reservatório Gramame-Mamuaba, o reservatório apresentaria o comportamento de acordo com a Figura 7.27.



**Figura 7.30 – Volume do reservatório Gramame-Mamuaba com reservatório Mumbaba operando (m<sup>3</sup>)**

Comparando a Figura 7.14 com a Figura 7.30, verifica-se que há um aumento nos níveis do reservatório Gramame-Mamuaba.

No ano de 2013, verifica-se que em todos os cenários o volume do reservatório atinge a capacidade máxima, a exceção é registrada no mês de fevereiro no cenário Otimista, quando a capacidade de armazenamento do reservatório é de 98,99%.

No período de seca, projetado para 2015, verifica-se que para o reservatório Gramame-Mamuaba, as menores capacidade de armazenamento são: no cenário Pessimista de 49,42%, no cenário Normal de 49,08% e no cenário Otimista 46,32%, todos no mês de novembro.

No período hidrológico muito chuvoso, em 2017, verifica-se que em quase todos os cenários o reservatório mantém-se na sua capacidade máxima, apenas no cenário Otimista de desenvolvimento turístico, nos meses de janeiro e fevereiro observa-se 93,34% e 95,70% respectivamente.

No horizonte de projeto, 2027, os menores valores são observados no mês de fevereiro, sendo: 80,29% para o cenário turístico Pessimista, 73,30% para o cenário Normal e 52,16% para o cenário Otimista.

### 7.8.5.1 Indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba

Os meses de trabalho acima do volume de alerta do reservatório Gramame-Mamuaba, com o reservatório Mumbaba operando a partir de 2010, estão indicados na Tabela 7.16:

**Tabela 7.16 – Resultados da simulação do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2010 a 2027 com a operação do reservatório Mumbaba**

	Pessimista	Normal	Otimista
$M_s$	215	213	206
$M_f$	1	3	10
$M_{f-s}$	1	1	1
Déficit Hídrico total (hm <sup>3</sup> )	0,33	0,88	13,70

$M_s$  – Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado satisfatório

$M_f$  – Quantidade de meses em que o sistema se encontrou em estado de falha

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

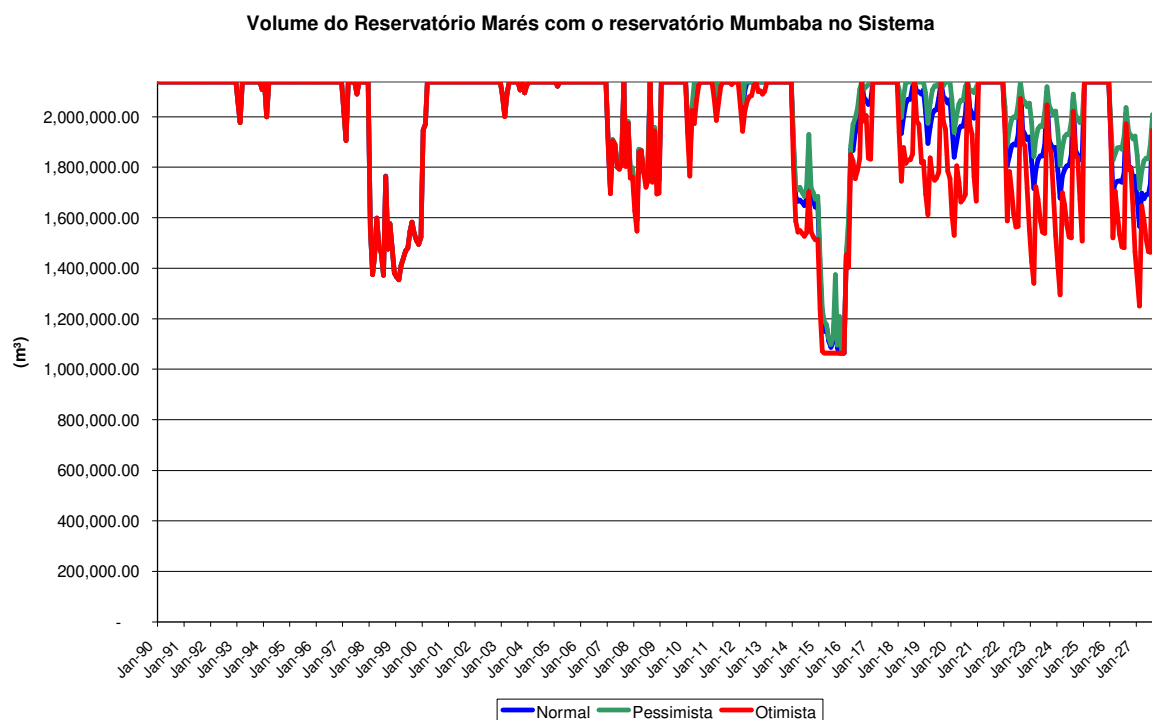
Os indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba com a colaboração do reservatório Mumbaba, no abastecimento estão apresentados na Tabela 7.17:

**Tabela 7.17 – Indicadores de desempenho do reservatório Gramame-Mamuaba entre 2010 a 2027 com a operação do reservatório Mumbaba**

Indicadores de Desempenho	Pessimista	Normal	Otimista
Confiabilidade	99,54%	98,61%	95,37%
Resiliência	100,00%	33,33%	10,00%
Vulnerabilidade	1,17%	1,04%	4,81%
Índice de Sustentabilidade Geral	98,37%	32,53%	9,08%

### 7.8.6 O reservatório Marés

O reservatório de Marés também sofreria algumas variações no seu armazenamento com a construção do reservatório de Mumbaba. De acordo com a Figura 7.16 o reservatório de Marés apresentaria poucas mudanças no seu comportamento.



**Figura 7.31 – Volume do reservatório Marés com reservatório Mumbaba operando (m<sup>3</sup>)**

Verifica-se que no início da operação do reservatório Mumbaba, o reservatório de Marés apresenta resultados positivos com ganhos de 9,26 pontos percentuais no cenário Pessimista, 10,11 pontos no cenário Normal e 11,29 pontos no cenário Otimista de desenvolvimento turístico.

No período hidrológico muito seco, em 2015 como é proposto, verifica-se que para um crescimento turístico Otimista, entre os meses de maio até dezembro o reservatório não apresenta ganhos percentuais. No cenário Normal, entre os meses de outubro até dezembro o reservatório não apresenta variações, quando comparado com o sistema sem o reservatório Mumbaba.

No ano de 2017, o reservatório em todos os cenários apresenta-se com 100,00% de sua capacidade de reservação.

No horizonte de projeto temos: 88,49% da capacidade no cenário Pessimista, 80,74% no cenário Normal e 67,55% no cenário Otimista.

## CAPÍTULO VIII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

### 8.1 Conclusões

As simulações realizadas com o modelo WEAP demonstrou os efeitos do turismo na demanda de água da bacia do rio Gramame, com análise de alocações mensais de água, para o planejamento e operação do sistema de recursos hídricos.

O modelo serve para dar suporte na tomada de decisão sobre as políticas de gestão dos recursos hídricos e na operação do reservatório, podendo ser facilmente utilizado para outros tipos de sistemas e adaptados a novas políticas.

Foram simulados no total 06 (seis) cenários de desenvolvimento econômico em função do crescimento do fluxo turístico, sendo 03 (três) cenários de desenvolvimento, (pessimista, normal e otimista) com o sistema de abastecimento atual, e outros 03 (três) cenários semelhantes com o sistema acrescido de um reservatório de 41,35 Mm<sup>3</sup> no rio Mumbaba operando a partir do ano de 2010.

O estudo foi dividido em duas etapas: a primeira de diagnóstico, analisando a situação do setor econômico do turismo na Paraíba, com seu desenvolvimento entre 1990 até 2006, bem como o consumo de água no mesmo período na região metropolitana da Grande João Pessoa. A segunda fase do trabalho foi o de prognóstico, com a previsão de cenários hidrológicos, aumento da disponibilidade de oferta e crescimento do fluxo turístico.

O modelo de simulação WEAP se adequou bem à proposta de cenários usados neste trabalho.

A facilidade na montagem do sistema de recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica, através do formato SIG onde são implantados elementos iconográficos para representar os elementos do sistema que compõe os recursos hídricos, torna o WEAP um modelo amigável. A análise dos resultados também é facilitada, devido às diversas formas de apresentação que o modelo oferece. Portanto, este modelo pode ser uma boa ferramenta para auxílio a tomada de decisões no planejamento e na gestão dos recursos hídricos.

Os objetivos específicos deste trabalho foram alcançados, através da utilização do modelo de simulação WEAP. O diagnóstico da situação do setor econômico do turismo e a utilização dos recursos hídricos da Grande João Pessoa foi realizada com base nos dados observados de fluxo turístico, consumo de água das demandas, nível dos reservatórios, crescimento populacional, uso *per capita* da água e as perdas em cada local de demanda.

O prognóstico das situações de desenvolvimento econômico do setor turístico e a adoção de cenários de previsão hidrológica possibilitou a determinação das demandas mensais de água a serem retiradas do reservatório, bem como, possibilitou observar o volume mensal acumulado nos reservatórios. Com os níveis acumulados de água nos reservatórios foi estabelecido os valores de sustentabilidade hídrica e os indicadores de desempenho de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade geral dos reservatórios no horizonte de projeto proposto.

A determinação do comportamento do sistema atual de abastecimento com a contribuição de um novo reservatório com água de outro manancial foi realizada e os resultados de confiabilidade do sistema foi obtida e devem auxiliar na tomada de decisão no planejamento da alocação de água de outros mananciais.

#### 8.1.1 **Cenário de crescimento Pessimista**

Os resultados apresentados para o cenário de crescimento Pessimista do fluxo turístico, são os mais positivos para a manutenção dos sistemas de recursos hídricos. No entanto, dificilmente esse cenário de desenvolvimento futuro será concretizado, pois a taxa de crescimento utilizada é inferior aos índices de desenvolvimento apresentados nos últimos anos.

O sistema de abastecimento da bacia do rio Gramame no cenário Pessimista mostra um deplecionamento do reservatório. No entanto, os resultados da simulação demonstram que, nesse cenário, o reservatório apresenta alguns picos no gráfico, onde o há um aumento substancial no volume acumulado, porém, mesmo com o reservatório apresentando capacidade máxima, as retiradas para atendimento às demandas são elevadas, o que não permite o atendimento completo dos locais de consumo de água.

Os indicadores de desempenho do reservatório no cenário Pessimista podem ser considerados satisfatórios, pois apresenta um valor de 95,24% de confiabilidade, esse índice tem uma relação direta com a condição climática da região onde à bacia hidrográfica esta inserida. O índice de 8,33% da resiliência é baixo em função das elevadas demandas de água do reservatório.

Os resultados apresentados com o aumento da oferta hídrica, com a implantação do reservatório Mumbaba no sistema de recursos hídricos da Grande João Pessoa, apresentam valores satisfatórios no atendimento às demandas. A confiabilidade no atendimento

aumentaria, em média, 16,11 pontos percentuais, e em nem um local a garantia de 100% no atendimento seria estabelecida. Verifica-se que o reservatório Mumbaba apresenta excelentes resultados nos índices de desempenho, apresentado valores de 98,15% de confiabilidade.

### 8.1.2 Cenário de crescimento Normal

Com relação ao sistema de abastecimento de água atendida pela bacia do rio Gramame, o cenário de desenvolvimento Normal do fluxo turístico apresenta valores preocupantes a médio e longo prazo, pois mesmo com uma taxa de crescimento de 3,63% ao ano, o fluxo de turistas no horizonte de 20 anos irá superar a população da Grande João Pessoa em 4,39%.

O indicador de desempenho de confiança do reservatório Gramame-Mamuaba, no cenário de desenvolvimento econômico Normal, apresentou um valor de 95,24%, isto significa que com o crescimento atual do turismo o reservatório apresenta uma boa capacidade para atender as demandas. A capacidade de recuperação do reservatório, após uma estiagem, apresenta um valor baixo, a resiliência, nesse cenário, foi de 8,33%. A vulnerabilidade de 20,60%, devido à condição imposta, esse número aponta que o reservatório é vulnerável quando os valores apresentados de armazenamento fossem de metade do seu volume total.

O aumento da oferta hídrica, com a implantação do reservatório Mumbaba, eleva o indicador de confiança do reservatório Gramame-Mamuaba para 98,15%. A capacidade de recuperação, a resiliência, também cresce, chegando a 50,00%. A vulnerabilidade do reservatório diminui para 88,11%.

### 8.1.3 Cenário de crescimento Otimista

É importante verificar que o cenário de desenvolvimento Otimista é o cenário com maior probabilidade de ocorrência para o fluxo turístico, em função dos resultados de crescimento do setor nos últimos anos, que mostra uma forte tendência ao crescimento anual bem próxima à utilizada neste trabalho. Com uma taxa de 8,12% a.a., em curto prazo os locais de demanda, abastecido pelo reservatório do rio Gramame, apresentaram problemas no atendimento, pois a população turística irá superar a população da Grande João Pessoa em 13,04%, em 2012. No horizonte de projeto, para 2027, o fluxo turístico será 168,72% maior que a população da Grande João Pessoa.

No cenário de desenvolvimento Otimista, o reservatório Gramame-Mamuaba apresenta o indicador de confiança em 90,08%, um valor muito bom, isto significa que, o reservatório apresentou poucos períodos de falha. A capacidade de recuperação nesse cenário apresentou o valor de 16,00%, demonstrando a baixa capacidade que o reservatório tem de retornar ao seu volume após um período de estiagem.

Caso o reservatório de Mumbaba fosse adicionado ao sistema, no cenário de desenvolvimento Otimista o reservatório Gramame-Mamuaba aumentaria seu índice de confiança para 94,91%. A resiliência aumentaria para 18,18%, uma baixa capacidade de recuperação do reservatório.

#### 8.1.4 Conclusões sobre as simulações

Portanto, como conclusão geral e de acordo com a abordagem metodológica proposta, através do modelo de simulação WEAP, este estudo fornecerá certamente, subsídios para o planejamento dos recursos hídricos e aumento da oferta hídrica no sistema abastecido pela bacia do Rio Gramame. A metodologia utilizada também dá subsídios para o planejamento e avaliação dos impactos causados pelo crescimento do fluxo turístico no litoral sul do estado da Paraíba, principalmente, com relação aos recursos hídricos da região.

### 8.2 Recomendações

Para trabalhos futuros, realizados com o modelo de simulação WEAP, na bacia do Rio Gramame, são apresentadas as seguintes recomendações:

- Discriminação das demandas residencial, industrial, comercial e de órgão públicos, para maior precisão das simulações;
- Inclusão de novas regras de operação do sistema;
- Testar o aumento da demanda de oferta, com a inclusão de novos mananciais disponíveis;
- Aperfeiçoamento da calibração no modelo chuva  $x$  vazão adotado;
- A utilização do modelo de qualidade da água do WEAP na bacia em estudo;
- A utilização do modelo agricultura do WEAP na bacia em estudo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. **Relatório de análise de influência das captações à montante na operação do sistema Gramame-Mamuaba**. João Pessoa, PB. p 7.
- ALBANO, G.D. (2004). **Integração de um modelo matemático de quantidade de água em rede de fluxo (ACQUANET) com um modelo matemático de qualidade de água em represas (CE-QUAL-R1) estudo de caso: represa Jaquari-Jacareí – Sistema Cantareira**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, p. 230.
- ALBUQUERQUE, J. A. S. e KISHI, R. T (1992). Planejamento dos Recursos Hídricos Através de Técnicas de Sistemas de Informações Geográficas. I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Recife. **Anais...** Ed. UFPE/ GRH/ABRH. 2º Vol. Recife, PE. p 55-61.
- ALLAN, J. A. (2004). *Water resource development and the environment in the 20 the century: first the taking, then the putting back*. **Hydrological Sciences Journal – The basis of civilization: Water sciene?**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 286, Chapter - 3, p. 135-149.
- ALMEIDA, M. C; VIEIRA, P; RIBEIRO, R. (2006). **Uso eficiente da água no setor urbano**. Série guias técnicos nº 8. Edição: IRAR/INAG/LNEC. Lisboa – Portugal.
- ALMEIDA, R. A.; VIANA, A. N. C.; ALVES, A. S. V. (2007). **Impacto do deplecionamento de reservatórios de regularização no setor de turismo em municípios lindeiros: O caso do resertório de furnas**. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. São Paulo. **Anais ...** São Paulo – SP, CD-ROM.
- ANDRADE, P.R.G.S. (2000). **Operação integrada ótima do sistema hídrico Jucazinho-Carpina, para múltiplos usos – Rio Capibaribe/PE**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 226.
- ANGELI, M. N. B (1996). **Planejamento e organização em turismo**. Ed. Papirus. Campinas, SP.
- ANSARAH, M. G. R. (2004). **Turismo: como aprender, como ensinar**. Editora Senac. São Paulo, SP.
- BAPTISTA, M. V. (1981). **Planejamento – Introdução à metodologia do planejamento social**. Editora Moraes. São Paulo, SP.
- BECKER, A.; GÜNTNER, A.; KATZENMAIER, D. (1999). *Required integrated approach to understand runoff generation and flow-path dynamics in catchments*. **Hydrological Sciences Journal – Integrated methods in catchment hydrology: Tracer, remote sensing and new hydrometric techniques**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 258, Chapter - 1, p. 3-9.
- BERTONI, J. A. (2004). Precipitação, in: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizadores: Carlos E. M. Tucci, André L. L. Silveira [et al.]. 3ª ed. Editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre, RS. Cap 5 p.177-241.
- BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y; FAVRE, A. C. (2007). Análise, aplicação e transposição de um modelo chuva-vazão para simulação de curvas de permanência de pequenas bacias da Amazônia. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 12, nº 1. Porto Alegre, RS. p. 205-216.
- BLAZEJCZYK, K.; WOLOWICZ, W.K.; LABEDZKI, L.; KUNERT, A. (2005). *Multi-annual fluctuations in precipitation and their hydrological and ecological consequences at regional scale*. **Hydrological Sciences Journal – Regional hydrological impacts of climatic change: hydroclimatic variability**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 296, Chapter - 3, p. 65-70.
- BRAGA Jr., B. P. F. (1987). Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: **Modelos para o gerenciamento de recursos hídricos**. NOBEL/ABRH. São Paulo, pp. 427 - 518.
- BRASIL – SUDENE – DPG – PRN – HME.(1990). **Dados pluviométricos mensais do Nordeste. Estado da Paraíba**. SUDENE. nº 5. Recife, PE. P 239.

BRASS, C; SCHUMANN, A. H. (2003). *An optimization model for reservoir systems to assist in coping with changes in demand and supply conditions*. **Hydrological Sciences Journal - Water resources systems: hydrological risk, management and development**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 281, Chapter - 5, p. 175-183.

CAMPOS, L. F.; QUININO, U. C. M; GADELHA, C. L. M. (2002). Abastecimento industrial: estimativa da demanda na bacia do rio Gramame no estado da Paraíba, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

CAMPOS, N. (2003). Gestão de Águas: Novas Visões e Paradigmas, in: **Gestão de águas: Princípios e práticas**. Editado por: Nilson Campos e Ticiania Studart. ABRH. 2ª ed. Porto Alegre, PR.

CAMPOS, N. (2003). O Modelo Institucional, in: **Gestão de águas: Princípios e práticas**. Editado por: Nilson Campos e Ticiania Studart. ABRH. 2ª ed. Porto Alegre, PR.

CMMAD (1991). **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Nosso futuro comum. 2ª ed. Ed. FGV. Rio de Janeiro, RJ.

De La TORRE, O. P. (1997). *El turismo: fenómeno social*. Fondo de Cultura Económica. México. p. 15.

DINIZ, L. S. (2006). **Legislação de saneamento e recursos hídricos**. Governo do Estado da Paraíba/ Secretaria de Estado de Infra-Estrutura (SEIE)/Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). João Pessoa – PB. 559 p.

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

FILGUEIRAS, H. J. A.; SILVA-NETO, A. F. (2002). Estimativa do consumo de água para a irrigação na bacia hidrográfica do rio Gramame, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

FOWLER, H. J., KILSBUR, C. G., O'CONNEL, P. E. (2003). *Modelling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system*. **Water Resources Research** Disponível em: <http://www.staff.ncl.ac.uk/h.j.fowler/climatechange.htm>  
Acessado em: 10 de fevereiro de 2008

FREITAS, A.J. (2005). Gestão de Recursos Hídricos, in: **Gestão de Recursos Hídricos: Aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Organizador: Demetrius David da Silva e Fernando Falco Pruski. Editora Universidade/UFV/ABRH. Viçosa, MG.

GADELHA, C. L. M.; DINIZ, F. E. G. (2002). Aspectos ambientais na bacia do rio Gramame: investigação preliminar, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

GOLDFARB, M.C.; CISNEIROS, D. O; SILVA, T. C. (2002). Caracterização Fluvio-Morfológica da Bacia do Rio Gramame, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

HANASAKI, N.; KANAE, S.; MUSIAKE, K. (2003). *Simulation the discharge of the Chao Phraya River taking into account reservoir operation*. **Hydrological Sciences Journal - Water resources systems: hydrological risk, management and development**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 281, Chapter - 5, p. 215-223.

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.

HOLANDA, N. (1985). **Planejamento e elaboração de projetos**. FENAME. Rio de Janeiro, RJ.

IRVING, M. A.; BURSZTYN, I.; SANCHO, A. P.; MELO, G. M. (2005). Revisitando significados em sustentabilidade no planejamento turístico. **Caderno Virtual de Turismo**, Vol. 5, nº 2.

KEMPER, K.E. (1996). *The cost of free water: Water resources allocation and use in the Curu valley, northeast Brazil*. Linkoping.

KJELDSEN, T. R.; ROSBJERG, D. (2001). *A framework for assessing the sustainability of a water resources system*. **Hydrological Sciences Journal – Regional Management of Water Resources**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 268, Chapter - 2, p. 107-113.

Jr. LINSLEY, R.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. H.(1975). *Hydrology for engineers. Series in water resources and environmental engineer*. McGraw-Hill. 2º Ed.Tokyo-Japan. 482 p.

LADWING, N. I.; DIAS, R. D. (2004) **A importância do cadastro técnico no planejamento turístico**, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC) – UFSC. Florianópolis, SC.

LANNA, A. E (1997). Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos. In: **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS.

LANNA, A. E. (2004). Gestão dos Recursos Hídricos, in: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizadores: Carlos E. M. Tucci, André L. L. Silveira [*et al.*]. 3ª ed. Editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre, RS. Cap 19 p.727-768.

LEMOS, C. C., SOUZA, M. P. (2007). **Avaliação Ambiental Estratégica para Gestão Integrada de Turismo e Recursos Hídricos**. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. São Paulo. **Anais ...** São Paulo – SP, CD-ROM.

LE ROY, E. (2005). *A study of the development of water resources in the Olifants catchment, South Africa: Application of the WEAP model*. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, Imperial College London. London – England. p. 107.

LÉVITE, H.; SALLY, H.; COUR, J. (2002). *Water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa*. 3rd WARSFA/ Waternet Symposium. Arusha, 10 pp.

LÉVITE, H.; SALLY, H.; COUR, J. (2003). *Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model*. **Physics and Chemistry of the Earth** nº. 28, 779-786 pp.

LIRA, G. A. R.(2005). **Sistema de Informações Baseado nas Características dos Poços de Abastecimento Público em Áreas Urbanas do Estado da Paraíba**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, UFPB, João Pessoa-PB, p 110.

LOON, A. van; DROOGERS, P. (2006). *Water Evaluation and Planning System, Kitui – Kenya*. Future Water Science for Solutions. Wageningen – Netherlands. 69 p.  
Disponível em: [www.futurewater.nl](http://www.futurewater.nl), acessado em: 19 de agosto de 2007.

LOUCKS, D. P. (1997). *Quantifying trends in system sustainability*. **Hydrological Sciences Journal** 42 (2), 513-530

MINISTRY OF TOURISM - NEW ZEALAND (2003) – *Effects of tourism demand on water and sewerage infrastructure in four local authorities*. Market Economics Limited – New Zealand. 124 p.

MOTA, S. (1995). **Preservação e conservação de recursos hídricos**. ABRH. Rio de Janeiro, RJ.

OLIVEIRA, R. (2002). **Simulação do abastecimento de água ao barlavento Algarvio**. Instituto da Água. Chiron Sistema de Informação. Monte de Caparica, Portugal. 45 p.

PERH – PB (2006) – **Plano Estadual de Recursos Hídricos: resumo executivo e atlas**. Governo do Estado da Paraíba/ SECTMA/AESA. Consórcio TC/BR – Concremat. Brasília –DF. 112 p.

PETROCCHI, M. (1998). **Turismo: planejamento e gestão**. Ed. Futura. São Paulo, SP.

PDITS (2004) – **Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável**. Governo do Estado da Paraíba/ PRODETUR NE II. Vol 2. João Pessoa-PB. 191p.

PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO GRAMAME (2000). SEMARH/SCIENTEC.

PLANO NACIONAL DA ÁGUA – PORTUGAL (2004).

Disponível em: [www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/pna/pdf\\_pna\\_v1/v1\\_c2\\_t04.pdf](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pna/pdf_pna_v1/v1_c2_t04.pdf), acessado em 22 de agosto de 2007.

RIEMANN, U. (1999). *Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality in the city of Dessau, Germany*. **Hydrological Sciences Journal – Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality**. IAHS. Oxfordshire, UK. N° 259, Chapter - 7, p. 307-314.

ROCHA, C. L., COIMBRA, R. M. (1998). **Gerenciamento de recursos hídricos em rios compartilhados internacionais uma abordagem para o Mercosul**. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais ... Gramado – RS.

RUSCHMANN, D. v. M. (1997). **Turismo e planejamento sustentável: a proteção do meio ambiente**. Ed. Papirus. Campinas-SP.

SANTOS, J. B.; PEDROSA FILHO, L. A.; SILVA, T. C. (2002). Análise de Áreas para Preservação dos Cursos d'Água da Bacia do Rio Gramame, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

SANTOS, V.S.; Curi, W. F.; Curi, R. C. (2006). **Análise de Metodologia para Determinação de Vazão a Jusante de Reservatórios no Semi-Árido Nordestino**. VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRICOS DO NORDESTE. Gravatá. Anais... Gravatá – PE, CD-ROM.

SCHACHTSCHNEIDER, K. (2001). *Water demand management and tourism in arid countries: Lessons learnt from Namibia*. In: **2nd WARFSA/ WaterNet Symposium - Integrated water resources management: Theory, practice, cases** . Anais... Cape Town, Namíbia. P 345 - 354

SIGVALDASON, O. T. (1976). *A simulation model for operation a multipurpose multireservoir system*. Water Resources Research, v. 12, p 263-278.

SILVA, A. C. S.; FILHO, L. A. P.; SILVA, T. C. (2002). Avaliação e espacialização das características dos poços do município de João Pessoa - Paraíba, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

SILVA Jr., A. N.; PAIVA, A. E. D. B.; SILANS, A. M. B. P. (2002). Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio Gramame – estado da Paraíba, in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarciso Cabral da Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, PB.

SIMONOVIC, S. P. (1992). *Reservoir system analysis: Closing gap between theory and practices*. Journal Water Resources Planning Management American Soc. Civil Engineer. Nova York, vol 118, nº.3. p 262-280.

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.

STUDART, T. M. C. e CAMPOS, N. (2003). Gestão da Demanda, in: **Gestão de águas: Princípios e práticas**. Editado por: Nilson Campos e Ticiania Studart. ABRH. 2ª ed. Porto Alegre, PR.

TUNBRIDGE, J. (2001) Gestão do Turismo Municipal, in: **Gestão de turismo em Ottawa, Canadá – Cultivo em ambiente frágil**. Organizadores: Ducan Tyler, Yvonne Guerrier e Martin Robertson. Editora Futura, São Paulo, SP.

YEVJEVICH, V. (1971). *Systems approach to hidrology – proceedings of the first bilateral U.S.-Japan seminar in hydrology held at the East-West Center of University of Hawaii*. Water resources publications. Colorado – USA. 463 p.

YEVJEVICH, V. (1972). *Probability and statistics in hidrology*. Water resources publications. Colorado – USA. 302 p.

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.

VIEIRA, A. S. (2007). **Um modelo de simulação via programação linear seqüencial, para sistema de recursos hídricos**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Campina Grande-PB, p 101.

VIERIA, V. P. P. B. (1996). Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Nordeste. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH. nº 1, vol 1, p. 91-107.

WAHAB, S. E. A. (1991). **Introdução à administração do turismo: alguns aspectos estruturais e operacionais do turismo internacional**. 3ª ed. Editora Pioneira. São Paulo, SP.

WURBS, R. A. (1993). *Reservoir-system simulation and optimization models*. Journal Water Resources Planning Management American Soc. Civil Engineer. Nova York, v 119, nº 4, p. 455-472.

YEH, W.W.G. (1985). *Reservoir Management and operations model: A state-of-the-art review*. Water Resources Research. vol.21, nº12, p1797-1818.

ZHAO, W; LI, Y. (2004). *The seamless integrating technology of GIS and management information systems (MIS) for water resources*. **Hydrological Sciences Journal – GIS and Remote sensing in hydrology, water resources and environment**. IAHS. Oxfordshire, UK. Nº 289, Chapter - 4, p. 249-253.

# A N E X O S



1983	64.7	227.3	147.3	91.1	147.4	156.6	105.7	98.8	-	42.1	3.6	7.5	1,092.1
1984	115.7	63.0	100.7	532.3	-	167.1	346.2	276.3	46.8	95.5	23.1	5.6	1,772.3
1985	61.5	206.5	473.7	413.1	421.3	452.7	676.7	140.2	63.0	0.9	19.2	30.0	2,958.8
1995	-	-	-	-	-	330.0	273.0	29.5	13.4	6.6	40.6	-	693.1
1996	11.0	59.0	212.2	346.8	134.0	202.2	155.6	178.2	98.4	34.0	48.8	19.2	1,499.4
1997	33.0	170.2	118.8	316.2	270.0	28.6	-	87.2	-	-	-	14.4	1,038.4
1998	1.4	12.8	8.6	29.3	62.4	64.1	130.2	148.6	27.3	27.2	15.0	3.4	530.3
1999	6.2	72.4	176.4	18.7	191.7	121.9	123.8	93.3	23.3	62.2	14.5	68.3	972.7
2000	148.1	226.7	49.7	229.4	354.6	474.5	334.5	153.8	329.4	9.8	22.4	124.6	2,457.5
2001	26.0	-	94.2	178.4	22.6	265.2	117.4	60.2	47.6	9.8	-	-	821.4
2003	27.0	281.4	254.0	149.8	-	-	-	87.2	69.4	37.6	7.3	95.0	1,008.7
2004	402.7	231.4	111.8	138.4	168.6	342.0	335.0	59.4	-	-	-	-	1,789.3
2005	4.7	32.4	55.8	88.6	321.2	382.8	97.7	179.2	58.6	17.5	4.6	15.8	1,258.9
2006	6.2	32.8	119.1	217.0	114.2	248.8	107.4	88.2	42.8	-	-	-	976.5
<b>Média</b>	71.9	96.3	170.8	224.2	229.9	258.7	258.2	124.1	62.2	32.8	24.8	33.6	1,547.4
<b>Máxima</b>	402.7	306.4	554.7	638.8	765.9	909.0	4,171.4	418.3	329.4	651.0	155.0	155.6	5,782.7
<b>Mínima</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: SUDENE (1912 – 1985); AESA (1995 – 2006)