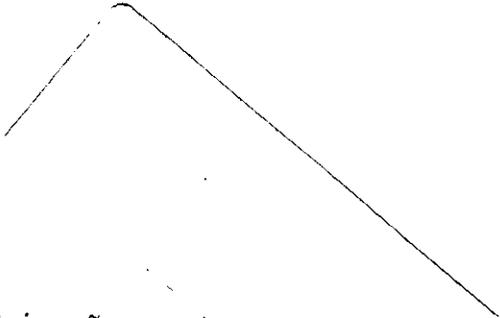


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA HIDRÁULICA**



Alysson Oliveira Guimarães

**FORMULAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DA QUALIDADE  
DE ÁGUA PARA GESTÃO DE RESERVATÓRIOS DE  
ABASTECIMENTO URBANO NO SEMI-ÁRIDO**

Campina Grande - PB

2006

---

Alysson Oliveira Guimarães

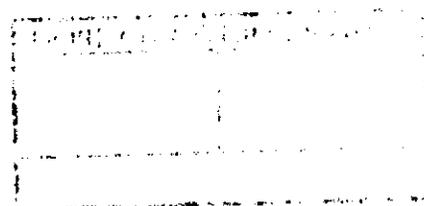
**FORMULAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DA QUALIDADE  
DE ÁGUA PARA GESTÃO DE RESERVATÓRIOS DE  
ABASTECIMENTO URBANO NO SEMI-ÁRIDO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Engenharia Hidráulica.

**Orientadores:** Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão  
Prof. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos

Campina Grande - PB

2006





FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

G939f  
2006

Guimarães, Alysson Oliveira  
Formulação de um modelo de previsão da qualidade de água para gestão de reservatórios de abastecimento urbano no semi-árido / Alysson Oliveira Guimarães. — Campina Grande, 2006.  
97f. : il.

Inclui Referências Bibliográficas.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais.  
Orientadores: Carlos de Oliveira Galvão,  
Beatriz Susana Ovruski de Ceballos.

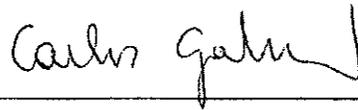
1— Modelagem da Qualidade de Água. 2— Gestão de Recursos Hídricos.  
3— Reservatórios. 4— Semi-Árido. 5— Abastecimento de Água. I— Título

CDU 556.18:628.13

Alysson Oliveira Guimarães

**FORMULAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DA QUALIDADE  
DE ÁGUA PARA GESTÃO DE RESERVATÓRIOS DE  
ABASTECIMENTO URBANO NO SEMI-ÁRIDO**

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão (orientador)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



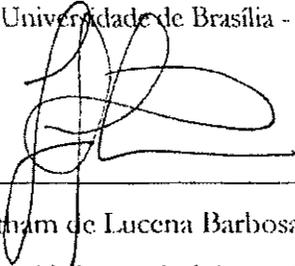
---

Prof. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos (orientadora)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



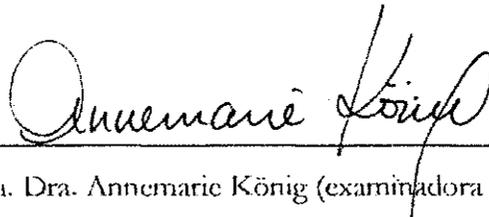
---

Prof. Dr. Sérgio Koide (examinador externo)  
Universidade de Brasília - UNB



---

Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa (examinador externo)  
Universidade Estadual da Paraíba - UFPB



---

Prof. Dra. Annemarie König (examinadora interna)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

"Nada acontece em contradição à natureza, apenas em contradição àquilo que conhecemos dela."

**Agente Dana Scully**, episódio *Herrenvolk* (4x01), *The X-Files*

Dedico este trabalho aos meus pais **Antônio de Pádua** e **Neusa**, pelo apoio constante, amor incondicional e exemplo de bondade, coragem e fé. Eu estarei sempre em dívida por tudo que vocês fizeram por mim.

Muito Obrigado.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS pelo dom da vida e por me mostrar os melhores caminhos, nunca me abandonando, principalmente quando o fardo é demasiado pesado para mim. Guiais-me Vós para que os dons da bondade sempre cresçam em mim e para que eu seja um ser humano melhor a cada dia.

Aos meus amados pais, irmão e familiares. Sou um homem de sorte por ter vocês presentes na minha vida, sempre com palavras de apoio e torcendo por mim.

Ao professor Carlos Galvão por ter topado embarcar comigo numa viagem difícil e de final imprevisível. A vitória também foi sua, e mais importantes que o resultado foram a amizade construída e o processo de aprendizado que passamos juntos.

À professora Beatriz Ceballos. Disse Dalai Lama: "Repartir o seu conhecimento é uma forma de alcançar a imortalidade". Você compartilhou comigo não somente seu conhecimento, mas também lealdade e confiança. Serei eternamente grato pelo carinho, amizade e pelos preciosos ensinamentos que recebi de você.

Aos professores Janiro Costa e Annemarie König pelas valiosas críticas e sugestões durante as fases mais difíceis deste trabalho.

Aos professores Etham Lucena, Alain Passerat, Takako Watanabe, Francisco Pegado e Cristina Crispim por disponibilizarem seu concorrido tempo e suas experiências para o aprimoramento deste trabalho.

À estimada amiga e professora Célia Regina pelo companheirismo sincero e pela amizade leal. As campanhas de campo com você foram inesquecíveis. Muito obrigado pela ajuda oferecida.

À querida amiga Izabela Nóbrega por tantos anos de amizade verdadeira, sempre desejando vitórias no meu caminho e sempre disposta a ouvir meus desabafos nos momentos que penso não haver solução para os meus problemas. Você é a irmã que a vida me presenteou.

Aos grandes e amados amigos do Laboratório de Hidráulica II: Pablo Ricalli, Rodolfo Nóbrega, Marília Dantas, Pedro Alysson, Rita Micheline, Klécia Forte, Gustavo Sousa, Isabel Mota, Socorro Alencar, Iana Alexandra, Renato Mahon, Ana Cristina, Isabelle Yruska, Josivan Marques, Klériston Christy, Karina Gouveia, Alessandra Santos e Mônica Rodrigues. Tenho vocês como verdadeiros anjos e pessoas muito valiosas na minha vida por tornaram a minha jornada muito mais prazerosa. Sentirei saudades das nossas *happy-hours*. Amigos como vocês valem ouro.

À Adriana Damasceno. Uma pessoa com grande inteligência e enorme coração. Sua amizade foi uma das melhores coisas que me aconteceu no mestrado.

Aos amigos que fiz durante o início da pesquisa no laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFCG: Ligeíze, Ionara, Simone, Andrezza, Mariana, Raíssa, Thaís, Ruceline, João Guarabira e Yuri. As campanhas de campo feitas com vocês eram garantia de bons momentos.

Aos funcionários da UFCG: Valmária, Cristina e Alves (da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental); Alrezinha, Vera, Ismael, Haroldo, Valdomiro e Ronaldo (da Área de Recursos Hídricos); e Josete (da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) pela estima, amizade e pelo apoio técnico oferecidos a mim.

À CAGEPA e ao LMRS por fornecerem os dados necessários a esta pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

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

"Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer!"

**Mahatma Gandhi**, advogado, filósofo e pacifista indiano (1869-1948)

## RESUMO

O semi-árido nordestino é considerado um sério desafio ao desenvolvimento econômico, social e ambiental por ser uma região com secas prolongadas e fortes impactos econômicos e sociais causados pela falta de correspondência entre a demanda e a oferta de água, além de apresentar condições ambientais desfavoráveis como altas taxas de evaporação, solos rasos e rios intermitentes com reduzida capacidade de autodepuração. Os açudes para abastecimento humano construídos nessas regiões são pólos de subsistência da população local e de desenvolvimento regional, portanto, a existência de uma gestão integrada e o desenvolvimento de ferramentas de apoio a essa gestão são importantes para a preservação da quantidade e da qualidade da água desses reservatórios. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi conceber um modelo integrado quali-quantitativo de previsão da qualidade de água em reservatórios para abastecimento humano no semi-árido, baseado em previsões hidrometeorológicas, no estado atual de conservação da bacia hidrográfica e na quantidade e qualidade da água do reservatório. Por meio de entrevistas realizadas com pesquisadores especialistas nesses ambientes, elaborou-se um banco de informações sobre o comportamento qualitativo desses corpos aquáticos. Esse modelo foi aplicado ao açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, estado da Paraíba, o principal reservatório de abastecimento da bacia do Rio Paraíba, a maior do estado, abastecendo mais de 600.000 pessoas. Os dados selecionados correspondiam a séries hidrológicas e séries de qualidade de água desse reservatório para o período de maio de 1998 a agosto de 2005, e os parâmetros de qualidade de água selecionados foram: sólidos dissolvidos totais, alcalinidade total, cálcio, magnésio, dureza e cloreto. As principais conclusões foram: (a) é possível, mesmo dispondo de séries temporais curtas de dados hidrológicos e de qualidade de água, desenvolver um modelo que reúna as características fundamentais propostas nesse trabalho – simplicidade de uso, resultados úteis para a gestão e adequabilidade para aplicação em reservatórios de abastecimento localizados no semi-árido; (b) as entrevistas realizadas com os pesquisadores especialistas permitiram elaborar um banco de informações úteis para a gestão e para a modelagem de processos qualitativos desses corpos hídricos; (c) verificou-se três períodos climáticos distintos ocorridos no açude Epitácio Pessoa – um período de estiagem extrema (1997 a 1999), um período de cheia extrema (2004 a 2005) e um período normal (2000 a 2003); (d) não houve degradação na qualidade da água do açude em épocas de estiagem, mesmo durante a crise quantitativa ocorrida entre os anos de 1997 e 1999; (e) em épocas de aportes elevados em relação ao volume armazenado, o reservatório apresentou redução de até 50% na concentração dos parâmetros de qualidade selecionados; (f) os parâmetros com melhor ajuste no modelo foram sólidos dissolvidos totais e cloreto, respectivamente com 0,916 e 0,939 de coeficiente de correlação entre a série observada e a prevista.

**Palavras-chave:** modelagem da qualidade de água, gestão de recursos hídricos, reservatórios, semi-árido, abastecimento de água.

## ABSTRACT

The development of the semi-arid region of Northeast Brazil is considered a serious challenge because it suffers long periods of drought resulting in grave economic and social impacts. Furthermore, other unfavorable environmental conditions also exist such as thin soils, high evaporations rates, intermittent rivers and reduced self-purification capacity. The reservoirs constructed in this area provide subsistence for local population and regional development. Therefore, the existence of integrated management support tools is important for the preservation of water quality and supply. In this context, the goal of this work was the development of an integrated model, both quantitative and qualitative, for the prediction of water quality in reservoirs that are located in the semi-arid region, based on hydrometeorological forecasts, current data of the watershed conservation and water quality data of the reservoir. Data collected through surveys were the original basis for the database describing the qualitative behavior of the hydrological systems. This model was tested in Epitácio Pessoa Reservoir (in Paraíba State) which is the main reservoir in Paraíba river basin, supplying water to over 600,000 people. The selected data corresponds to hydrological series and water quality data for the period from May 1998 to August 2005. The water quality parameters selected were: total dissolved solids, total alkalinity, calcium, magnesium, hardness and chloride. The main conclusions were: (a) the development of this model was possible even with short data series and showed useful results for the management of water supply reservoirs located in the semi-arid; (b) surveys allowed the development of a database with useful information for the modeling and management of the reservoirs. (c) it was possible to verify three different climatic periods that occurred in Epitácio Pessoa Reservoir – an extremely drought period (1997 to 1999), a period of flood (2004 to 2005) and a normal period (2000 to 2003); (d) there was no water quality degradation in the reservoir during drought periods, even during the water supply crisis (occurred between the years 1997 and 1999); (e) there was a reduction of up to 50% in the concentration of water quality parameters in periods of high flow (in relation to the amount of stored water); (f) the parameters that were best represented were total dissolved solids and chloride, respectively with 0.916 and 0.939 correlation between the observed and the predicted series.

**Keywords:** water quality modeling, hydric resources management, reservoirs, semi-arid, water supply.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xii
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 – Apresentação.....	1
1.2 – Objetivos.....	3
<b>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	4
2.1 – Recursos Hídricos e Desenvolvimento Humano.....	4
2.2 – O Semi-Árido Brasileiro.....	6
2.3 – A Prática de Construção de Reservatórios no Semi-Árido.....	10
2.4 – Aspectos da Qualidade da Água nos Mananciais de Abastecimento do Semi-Árido.....	11
2.5 – Ações Antrópicas nos Mananciais de Abastecimento do Semi-Árido.....	14
2.6 – Gestão Integrada de Reservatórios de Abastecimento no Semi-Árido para Preservação da Qualidade da Água.....	15
2.7 – Modelagem Integrada como Ferramenta para Gestão de Reservatórios de Abastecimento no Semi-Árido.....	20
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA</b> .....	26
3.1 – Formulação do Primeiro Esquema do Modelo de Previsão.....	26
3.2 – Entrevistas com Especialistas.....	28
3.3 – Caso de Estudo para Aplicação do Modelo.....	30
3.4 – Levantamento de Dados Qualitativos e Quantitativos.....	34
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	36
4.1 – Desenvolvimento do Modelo de Previsão da Qualidade da Água.....	36
4.1.1 – Concepção.....	36
4.1.2 – Incorporação dos Dados de Entrada do Modelo.....	39

4.2 – Resultado das Entrevistas com os Especialistas .....	45
4.3 – Estudo de Caso: Açude Epitácio Pessoa (PB).....	50
4.3.1 – Os Anos de 1998 e 1999.....	54
4.3.2 – Os Anos de 2000 e 2001.....	55
4.3.3 – Os Anos de 2002 e 2003.....	57
4.3.4 – Os Anos de 2004 e 2005.....	60
4.3.5 – Fatores Hidroclimáticos.....	61
4.3.6 – Reconstituição da Série Histórica de Volume de Entrada.....	64
4.3.7 – Balanço de Massa do Reservatório.....	66
4.4 – Aplicação do Modelo Desenvolvido ao Açude Epitácio Pessoa .....	67
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>85</b>
Anexo A – Série de dados de qualidade de água do açude Epitácio Pessoa (PB) utilizada na pesquisa .....	86
Anexo B – Balanço hídrico mensal do açude Epitácio Pessoa (PB).....	88
Anexo C – Balanço de massa sazonal do açude Epitácio Pessoa (PB) .....	94
Anexo D – Resultados da aplicação do modelo ao açude Epitácio Pessoa (PB).....	96

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Mapa do semi-árido no Nordeste brasileiro. ....	6
<b>Figura 2.2</b> – Principais abordagens para o gerenciamento da qualidade da água. ....	16
<b>Figura 2.3</b> – Exemplo de um gerenciamento integrado de bacias hidrográficas. ....	19
<b>Figura 2.4</b> – Metodologia proposta por Azevedo, Porto & Porto (1998) para o desenvolvimento integrado de recursos hídricos. ....	23
<b>Figura 3.1</b> – Primeiro esquema concebido para o modelo de previsão de qualidade de água. ....	27
<b>Figura 3.2</b> – Conteúdo do questionário entregue aos especialistas para avaliação sobre a qualidade de água em reservatórios do semi-árido. ....	29
<b>Figura 3.3</b> – Mapa de localização do açude Epitácio Pessoa (PB). ....	31
<b>Figura 4.1</b> – Concepção do modelo de previsão de qualidade de água desenvolvido para açudes de abastecimento do semi-árido. ....	38
<b>Figura 4.2</b> – Determinação da classificação da precipitação prevista através do índice Montante de Precipitação Prevista (MPP). ....	41
<b>Figura 4.3</b> – Determinação do índice Diagnóstico de Impacto de Drenagem (DID). ....	43
<b>Figura 4.4</b> – Comportamento observado no açude Taperoá II (PB) nas diferentes condições climáticas e classificação do seu estado trófico. ....	47
<b>Figura 4.5</b> – Variação temporal da precipitação média na bacia de drenagem (região do Alto Paraíba – PB), do volume acumulado no açude Epitácio Pessoa (PB) e da concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT), dureza e cloreto no ponto de captação de água para tratamento, no período de maio de 1998 a agosto de 2005. ....	51
<b>Figura 4.6</b> – Variação temporal da precipitação média na bacia de drenagem (região do Alto Paraíba – PB), do volume acumulado no açude Epitácio Pessoa (PB) e da concentração de alcalinidade total (Alc. Total), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no ponto de captação de água para tratamento, no período de maio de 1998 a agosto de 2005. ....	52
<b>Figura 4.7</b> – Séries de qualidade de água prevista obtidas através da aplicação do modelo conceitual aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB), referentes ao período de maio de 1998 a agosto de 2005. <b>A:</b> sólidos dissolvidos totais (SDT); <b>B:</b> alcalinidade total (Alc. Total); <b>C:</b> cálcio (Ca). ....	70
<b>Figura 4.8</b> – Séries de qualidade de água prevista obtidas através da aplicação do modelo conceitual aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB), referentes ao período de maio de 1998 a agosto de 2005. <b>A:</b> magnésio (Mg); <b>B:</b> dureza; <b>C:</b> cloreto. ....	71

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

<b>Quadro 4.1</b> – Sugestão de valores para o índice de Diagnóstico de Atividades e Proteção (DAP) para a situação atual da bacia de drenagem. ....	40
<b>Quadro 4.2</b> – Comportamento esperado para diversos parâmetros de qualidade de água nos reservatórios do semi-árido sob diversas condições climáticas, obtido através de entrevistas realizadas com dez (10) especialistas. ....	46
<b>Quadro 4.3</b> – Comportamento esperado para diversos parâmetros de qualidade de água frente a alguns cenários climáticos em reservatórios do semi-árido. ....	49
<b>Quadro 4.4</b> – Regras de determinação do índice DID para previsão da qualidade de água do açude Epitácio Pessoa (PB). ....	68
<b>Quadro 4.5</b> – Relação entre as variáveis de entrada do modelo de previsão de qualidade de água e a categoria lingüística para aplicação aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB). ....	69
<b>Tabela 4.1</b> – Valores de coeficiente de correlação e de desvio percentual médio obtidos com a aplicação do modelo de previsão de qualidade desenvolvido aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB), no período de maio de 1998 a agosto de 2005. ....	73

## LISTA DE SIGLAS

- AAGISA** - Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba  
**ABC** - Academia Brasileira de Ciências  
**ABES** - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental  
**ABRH** - Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
**ACIESP** - Academia de Ciências do Estado de São Paulo  
**ADENE** - Agência de Desenvolvimento do Nordeste  
**AESA** - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba  
**AIDIS** - Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental  
**AMCT** - Associação Moçambicana de Ciência e Tecnologia  
**APRH** - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos  
**CAGEPA** - Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba  
**CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
**CBHs** - Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará  
**COGERH** - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará  
**COMIRH** - Comitê Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará  
**CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
**CONREH** - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará  
**DNOCS** - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas  
**DRN** - Departamento de Recursos Naturais  
**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
**FINEP** - Financiadora de Estudos e Projetos  
**FUNORH** - Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará  
**IAWR** - International Association of Waterworks in the Rhine Catchment Area  
**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**IEA** - Instituto de Estudos Avançados  
**IIE** - Instituto Internacional de Ecologia  
**ILEC** - International Lake Environment Committee  
**INFOCS** - Instituto de Fomento Contra a Seca  
**LMRS** - Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba  
**MAB** - Man and the Biosphere Programme  
**OEA** - Organização dos Estados Americanos  
**PROÁGUA** - Programa de Desenvolvimento de Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro  
**PRODEMA** - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente  
**SANEPAR** - Companhia de Saneamento do Paraná  
**SBA** - Sociedade Brasileira de Agrometeorologia  
**SBL** - Sociedade Brasileira de Limnologia  
**SEMARH/PB** - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba  
**SUDEMA** - Superintendência de Administração do Meio Ambiente  
**SUDENE** - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
**TROPEN** - Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste  
**UEPB** - Universidade Estadual da Paraíba  
**UFC** - Universidade Federal do Ceará  
**UFCG** - Universidade Federal de Campina Grande

**UFMG** - Universidade Federal de Minas Gerais  
**UFPB** - Universidade Federal da Paraíba  
**UFPI** - Universidade Federal do Piauí  
**UFRGS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
**UFSC** - Universidade Federal de Santa Catarina  
**UFSCar** - Universidade de São Carlos  
**UNB** - Universidade de Brasília  
**UNEP** - United Nations Environment Programme  
**UNESCO** - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura  
**USEPA** - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos  
**USP** - Universidade de São Paulo  
**WHO** - World Health Organization

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - Apresentação

Atualmente, a água é mais consumida pela humanidade do que todos os demais bens e matérias-primas combinados. A taxa de crescimento da demanda é superior à taxa de crescimento populacional, e isso se reflete no aumento da produção de efluentes que deterioram a qualidade da água e comprometem seu potencial de uso. Diferentemente da visão que se tinha décadas atrás, o fator qualidade da água passou a ser tão ou mais importante que o fator quantidade, além de ser o principal fator limitante de uso dos recursos hídricos. A escassez de água em algumas regiões fez com que essa passasse a ser vista como oportunidade de desenvolvimento.

Embora o Brasil seja um país privilegiado em recursos hídricos por possuir cerca de 18% do potencial hídrico da superfície do planeta, escoando através de suas redes fluviais aproximadamente 257.790 m<sup>3</sup>/s, esse montante não é uniformemente distribuído pelas regiões do país. As regiões Norte e Centro-Oeste concentram a maior parte da água disponível para uso no país, 89% das águas superficiais brasileiras, mas apenas 14,5% da população do país vivem nessas regiões, enquanto que os 11% restantes do potencial hídrico estão disponíveis para 85,5% da população, que corresponde a 90% da demanda de água no país (ANDREOLI *et al.*, 2003). Esse quadro agrava-se mais ainda na região Nordeste, e sobretudo nas áreas de clima semi-árido (58% da área nordestina), cujos recursos hídricos superficiais são escassos e as precipitações pluviométricas são mal distribuídas espacial e temporalmente (REBOUÇAS, 2002). Nesse cenário, a prática de construção de açudes, transformada em política desde a época de D. Pedro I e consagrada com a fundação do INFOCS - Instituto de Fomento Contra a Seca, que mais tarde passou a ser o DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, os tornou pólos de subsistência da população local e de desenvolvimento regional. Em consequência, a maioria dos reservatórios está submetida aos impactos das atividades em suas margens e no próprio corpo d'água. Esses fatores, acrescidos das variações climáticas, tornam esses ambientes bastante vulneráveis, ampliando os problemas da região (VIEIRA, 2002a).

O estudo e o monitoramento do comportamento hidrodinâmico e dos aspectos limnológicos desses ambientes são importantes para a compreensão das funções ecológicas,

econômicas e sociais, possibilitando definir políticas para o uso da água e ações de controle da poluição. Outrossim, os estudos quali-quantitativos auxiliam na gestão, que tem por preceito garantir a qualidade de vida das populações usuárias dentro de uma perspectiva que não limite sua disponibilidade às gerações futuras.

A utilização sustentada dos recursos hídricos, conforme os fundamentos da Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil, é baseada na adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e controle, na gestão descentralizada e participativa de recursos hídricos, voltada para o uso múltiplo das águas e o reconhecimento dessas como um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico.

Um dos fatores que mais prejudicam a prática da efetiva gestão das águas do Nordeste é a existência de poucos sistemas de monitoramento de qualidade de água, e que, portanto, disponibilizam uma quantidade reduzida de informações sobre o estado de seus corpos de água, as influências das diferentes realidades fisiográficas e a magnitude dos problemas de poluição. Existem poucos postos instalados para a coleta sistemática de dados e, mesmo no caso de campanhas mais específicas quanto a objetivo e local, também não há grande disponibilidade de dados de qualidade das águas e quantidade armazenada (BRAGA, PORTO & TUCCI, 2002; VIEIRA, 2003).

Frente à importância que a gestão integrada possui para preservação da quantidade e qualidade da água de reservatórios de abastecimento do semi-árido, é importante o desenvolvimento de modelos de previsão de qualidade de água, que sejam agregados a outras ferramentas, incluindo a previsão hidrometeorológica, para apoio à gestão integrada de reservatórios desprovidos de séries longas e consistentes de dados quali-quantitativos.

Nessa perspectiva, propõe-se, neste trabalho, uma metodologia de formulação de um modelo conceitual integrado de previsão de qualidade de água. Esse modelo foi aplicado ao açude Epitácio Pessoa (PB), localizado na zona rural do município de Boqueirão, região dos Cariris Velhos, a de menor índice pluviométrico do país. É o principal reservatório da bacia do Rio Paraíba, a maior do estado, e seu principal uso é para abastecimento de água de várias cidades do Compartimento da Borborema, entre elas, Campina Grande, servindo a mais de 600.000 pessoas.

## 1.2 - Objetivos

### Objetivo Geral

Formular um modelo conceitual integrado quali-quantitativo de previsão da qualidade de água em reservatórios destinados ao abastecimento humano localizados no semi-árido brasileiro, para apoio à sua gestão, baseado em previsões hidrometeorológicas e nos estados atuais da bacia hidrográfica e da qualidade da água no reservatório.

### Objetivos Específicos

- Sintetizar opiniões de pesquisadores especialistas em reservatórios no semi-árido sobre o comportamento qualitativo desses reservatórios e a variação provável da qualidade da água armazenada sob o efeito da variabilidade climática e dos processos hidrológicos que ocorrem na bacia de drenagem.
- Conceber um processo simples para agrupamento das diversas variáveis de entrada do modelo, que possa ser livremente adaptado para as condições específicas de cada reservatório.
- Estudar as variações de comportamento da qualidade da água do açude Eptácio Pessoa, na Paraíba, considerando aspectos qualitativos, quantitativos e a influência da bacia de drenagem.
- Avaliar os resultados da aplicação do modelo àquele açude, verificando sua capacidade para prever eventos extremos e sua utilidade para servir como ferramenta de apoio a tomadas de decisão na gestão.

# FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 - Recursos Hídricos e Desenvolvimento Humano

A fixação do homem nas mais variadas regiões do globo terrestre, ao longo da história, tem sido função das disponibilidades, qualitativas e quantitativas, das fontes de energias necessárias à sua subsistência (JORDÃO & PESSOA, 1995). Essa energia, em forma de água e de alimento, é a principal condição imposta pelo homem para sua permanência num local. Dessas duas, a água tem sido o primeiro fator a pesar na decisão pela escolha de um local para que o homem permaneça e forme comunidades, estabelecendo-se sempre às margens dos rios para obter o suprimento indispensável à vida (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1982).

A água, como elemento essencial à existência da vida, promove o desenvolvimento de civilizações há milhares de anos e tem sido fator determinante na ocupação da superfície do planeta e da qualidade de vida da população humana. As águas dos rios Nilo, Eufrates e Tigre contribuíram para que as civilizações dos povos egípcios, assírios e babilônicos tivessem seus desenvolvimentos culturais e econômicos diretamente ligados a esses cursos d'água (MEYBECK, CHAPMAN & HELMER, 1989).

O processo da evolução humana exerceu, e ainda exerce, forte influência nos ecossistemas terrestres e aquáticos, e o recente e constante desenvolvimento de tecnologias permite ao homem alterar o ambiente em que vive de um modo cada vez mais rápido e acentuado (RAPPAPORT, 1982). Os recursos naturais vêm sendo explorados exaustivamente, com conseqüente alteração da qualidade ambiental, muito embora no início desse processo houvesse um modelo menos predatório e desordenado, devido à menor população no planeta. De forma gradual, o ambiente vem sendo degradado por causa das atividades humanas, que produzem chuva ácida, destroem a camada de ozônio, aumentam o efeito estufa, lançam aos corpos d'água esgotos não tratados e geram a disposição inadequada de resíduos sólidos (SACHS, 1997).

Tundisi & Matsumura-Tundisi (1995) destacam que o número e o tamanho dos ecossistemas aquáticos artificiais têm aumentado em todas as regiões do globo, sendo

importantes os estudos limnológicos e sanitários nesses ecossistemas, pois se constituem em informações básicas para a adoção de medidas de proteção da qualidade de suas águas.

As atividades humanas vêm se tornando, atualmente, um dos fatores mais preocupantes, porque se desenvolvem em larga escala nas diferentes bacias hidrográficas, levando à deterioração acelerada da água, tanto quantitativa como qualitativamente em diversas regiões do globo. Com isso, a escassez de água e a degradação das fontes de abastecimento passaram a ser mais freqüentes e a gerar preocupações. Os desafios referentes à crise da água, assim como os problemas por ela gerados de acordo com Tundisi (1999) são:

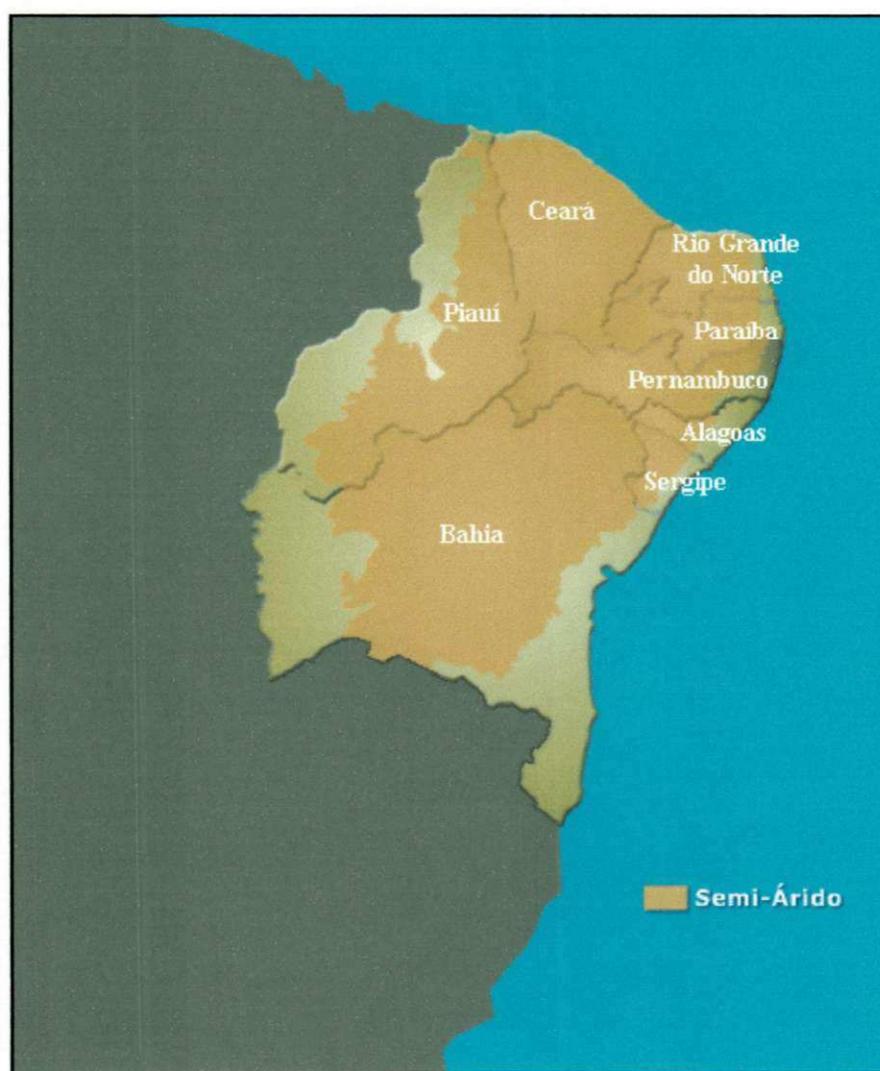
**"escassez de água, disponibilidade de água, deterioração da qualidade da água, falta de percepção de gerentes e do público em geral sobre a gravidade da crise; fragmentação e dispersão do gerenciamento dos recursos hídricos, declínio das fontes de financiamento para a resolução dos problemas relativos aos recursos hídricos, ameaça à segurança e à paz internacional devido aos possíveis conflitos nos 114 rios que ultrapassam fronteiras entre países, perspectivas de mudanças globais na terra que afetarão a distribuição e a disponibilidade de recursos hídricos."**

A utilização sempre maior dos recursos hídricos vem resultando em carência quantitativa e degradação qualitativa das águas. Com o crescimento da população mundial, do desenvolvimento industrial e da intensificação de atividades humanas relacionadas, como a agricultura e a pecuária, houve, como conseqüência, maior utilização dos corpos de água, passando então o fator qualidade a ser extremamente importante (MOTA, 1995).

As mudanças climáticas, associadas à poluição e ao uso indiscriminado dos recursos naturais, alteram as características dos ecossistemas terrestres e vêm alterando as características ambientais naturais de diversos locais no planeta. As regiões áridas e semi-áridas atualmente abrangem cerca de 40% da superfície terrestre (RASOOL, 1984), mas tais proporções vêm se expandindo em função de processos como destruição de florestas, desertificação e mudanças no clima (SCHLESINGER *et al.*, 1990).

## 2.2 - O Semi-Árido Brasileiro

O semi-árido brasileiro é objeto de várias discussões e de implementação dos mais variados métodos para desenvolvimento. Essa região ocupa uma área total de 974.752 km<sup>2</sup>, com 86,48% dessa área localizada nos estados do Nordeste, com exceção do Maranhão (Figura 2.1). A área restante de semi-árido localiza-se na região Sudeste, ao norte dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo (11,01% e 2,51%, respectivamente) (ASA, 2006). Mais de 18 milhões de pessoas vivem nessa região, e desse total, cerca de 40% moram na zona rural (ADENE, 2006). A densidade demográfica do semi-árido brasileiro é de 20 hab/km<sup>2</sup>, o que o torna uma das regiões semi-áridas mais habitadas do planeta. Uma das principais características é o bioma caatinga, com grande biodiversidade. A vegetação caatinga pode ser arbórea ou arbustiva, com solos rasos e arenosos e com cobertura vegetal rala. (CARVALHO & GOMES, 2002).



**Figura 2.1** – Mapa do semi-árido no Nordeste brasileiro (modificado de EMBRAPA, 2006).

Essa região tem como principal característica um balanço hídrico desfavorável com precipitações médias anuais iguais ou inferiores a 800 mm, apresentando insolação média de 2800 h/ano, com evapotranspiração potencial superior a 2.000 mm/ano. As temperaturas médias anuais registradas são altas, valores entre 23° e 27° C, e possui escoamento específico reduzido – cerca de 4 l/s/km<sup>2</sup> ou 1260 m<sup>3</sup>/ha/ano (VIEIRA, 2002a).

O semi-árido nordestino é considerado um sério desafio ao desenvolvimento pois se caracteriza como uma região onde ocorrem secas prolongadas, com fortes impactos econômicos e sociais por causa da falta de correspondência entre a demanda de água requerida para atender as necessidades e o montante ofertado, além de apresentar condições ambientais desfavoráveis como altas taxas de evaporação, solos rasos, rios intermitentes e reduzida capacidade de autodepuração (VIEIRA, 1996).

Segundo Carneiro (1998), o Nordeste apresenta a característica de possuir a terceira maior superfície entre as bacias hidrográficas do Brasil. Mesmo com essa área, a bacia nordestina é pouco significativa em termos de reservas hídricas, em face dos condicionantes do próprio ambiente (geologia, clima, vegetação e solo), os quais exercem, dentre outros efeitos, influência considerável no regime dos rios. Isso faz com que o potencial médio da água doce nos rios do Nordeste seja somente 186,2 km<sup>3</sup>/ano representando apenas 3% do total nacional e é, em relação às outras regiões, o mais baixo no Brasil (REBOUÇAS, 1997).

A adversidade climática não constitui uma barreira ao desenvolvimento da região, entretanto ela dificulta a existência de uma condição ambientalmente saudável, porque além da ação predatória do homem e dos animais para conseguirem sobreviver, existe nessa região um favorecimento ao processo de desertificação. De acordo com a Agenda 21 Global (1992), a desertificação “é a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas”. Através da desertificação há a redução progressiva do potencial biológico da terra, que transforma determinada área fértil em deserto, podendo ocorrer naturalmente ou de forma artificial, pela ação predatória do homem.

Os recursos hídricos intermitentes também são importantes para o desenvolvimento da região, pois no semi-árido brasileiro há rico potencial de umidade, originário de lagoas naturais intermitentes. Esses ecossistemas são praticamente desconhecidos pela falta de cadastramentos e existem poucos estudos sobre o tema. Segundo MALTCHIK, COSTA & DUARTE (1999), há aproximadamente 15.781 lagoas intermitentes heterogeneamente distribuídas no semi-árido nordestino que no período chuvoso totalizam cerca 142 mil hectares de área inundada. Esses

ecossistemas funcionam como atenuadores do desequilíbrio climático regional (MOLLES & DAHM, 1990). Fisher & Grimm (1991) salientam que os sistemas aquáticos temporários oferecem um primeiro reflexo daquilo que os ecossistemas aquáticos de regiões úmidas podem se tornar com a expansão das zonas áridas. É importante estudar as zonas úmidas dessas regiões áridas e semi-áridas, pois o funcionamento desses ambientes está diretamente relacionado com questões ambientais globais.

Na Paraíba, as zonas das lagoas intermitentes são de grande valor ecológico para a região por partilharem do equilíbrio entre o solo, a água e a vegetação e garantem a manutenção da biodiversidade local. Na visão biossocial elas contribuem para a sobrevivência dos grupos humanos que delas dependem (BARRETO, 2001).

Dados obtidos com a EMBRAPA (2006) mostram que apesar da hostilidade natural e da complexa relação de convivência do homem com sua condição, a região contém grande diversidade de recursos naturais e apresenta condições propícias para a agricultura irrigada. Existe também, a possibilidade de exploração sustentável do potencial frutífero, medicinal, criação de animais adaptáveis à região e produção de mel, além de atividades não agrícolas (fabricação de doces, móveis, aquicultura, e exploração mineral).

O estado da Paraíba é caracterizado por apresentar a maior parte de seu território inserida na zona semi-árida, com 43.555 km<sup>2</sup> (77,3% do total do estado). Além disso, em relação às demais áreas semi-áridas do Nordeste, a da Paraíba é a que apresenta a maior degradação ambiental. Desse modo, dentre as três zonas geoeconômicas paraibanas, a semi-árida enfrenta muita pressão sobre os recursos disponíveis, especialmente os hídricos (PARAÍBA, 1997). Nesse estado, a efetivação de ações de gestão participativa e integrada dos recursos torna-se urgente para combater e mitigar os problemas existentes em relação à disponibilidade hídrica.

A Política Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba foi instituída através da Lei 6.308 de 20 de julho de 1996, portanto é anterior à Lei 9.433/97 que criou a Política Nacional de Recursos Hídricos. A AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, criada pela Lei 7.779/05, é o órgão estadual responsável pela gestão das bacias hidrográficas, pelo monitoramento dos açudes e pelas operações de reservatório (controle da utilização dos recursos hídricos armazenados para os diversos fins a que se destinam). Essa agência agrupou todos os órgãos de gestão de recursos hídricos do estado, a exemplo da AAGISA - Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba (criada pela Lei 7.033/01) e do LMRS - Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba. A gestão das bacias hidrográficas estaduais está passando por um processo de estruturação de comitês de

bacia e atualmente três estão em fase de instalação, possuindo diretoria provisória: Comitê de Bacia do Litoral Norte, Comitê de Bacia do Litoral Sul (essas duas coordenam as ações de gestão em várias bacias hidrográficas) e Comitê de Bacia do Rio Paraíba. Falta, nessa política, uma ação mais forte em relação à formação dos comitês individuais para todas as bacias do estado, como, por exemplo, as de Mamanguape e Gramame que necessitam de comitês próprios.

Duas experiências bem marcantes de gestão de recursos hídricos em estados nordestinos podem ser citadas: a da Bahia e a do Ceará.

- O estado da Bahia instituiu, através da Lei 6.855 de 13 de maio de 1995, a Política Estadual de Recursos Hídricos, iniciando o processo de implementação da gestão pela elaboração de planos diretores de bacias hidrográficas para, em seguida, partir para agrupar as informações em um documento (CAMPOS & SOUZA FILHO, 1995). De acordo com Luchini (2000), atualmente a gestão daquele estado está descentralizada em dez regiões administrativas da água, coordenadas pela Superintendência de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação – órgão gestor central da água – e o sistema também conta com os comitês de bacia.

- O Ceará é outro estado nordestino de destaque na legislação de recursos hídricos, com uma gestão bastante efetiva. Através da Lei Estadual 11.996/92 foi criado o Sistema de Gestão com a seguinte estrutura: Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONREH); Comitê Estadual de Recursos Hídricos (COMIRH); Secretaria de Recursos Hídricos – órgão gestor; Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNORH); Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) e Comitê das Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza. A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH (entidade especializada em recursos hídricos) também faz parte da organização cearense e iniciou o processo com um Plano Estadual de Recursos Hídricos agregando as informações do aparato institucional vigente às tarefas a serem executar (CAMPOS & SOUZA FILHO, 1995). De acordo com Campos & Souza Filho (1995), para aquele estado, foram incorporados os seguintes princípios: adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão; promoção de um gerenciamento integrado, participativo e descentralizado; reconhecimento da água como bem econômico; instituição da outorga como instrumento indispensável ao gerenciamento; reconhecimento da indissociabilidade de quantidade e qualidade e a unidade das fases aérea, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico.

De uma forma geral, todos os estados nordestinos já estão adaptando suas legislações e seus Sistemas de Gestão de Recursos Hídricos para a prática de ações de gestão participativa nas bacias nordestinas.

### 2.3 - A Prática de Construção de Reservatórios no Semi-Árido

O mau gerenciamento da água é um dos elementos limitantes ao desenvolvimento sócio-econômico da região Nordeste do Brasil. As precipitações irregulares, tanto temporal quanto espacialmente, associadas à alta taxa de evaporação conferem à região balanço hídrico anual negativo (REBOUÇAS, 2002). Além dessas perdas, existe ainda a crescente demanda de água para abastecimento humano, animal e irrigação (JACCON, 1982). Por outro lado, os usos não consuntivos também impactam a qualidade da água e necessitam de ações de gestão que quantifiquem e mitiguem esses impactos. Nesse contexto, as represas artificiais são construídas para satisfazer pelo menos um dos seguintes objetivos: abastecimento de água, regularização da vazão de rios, obtenção de energia elétrica, irrigação, navegação e/ou recreação (CARNEIRO, 2002).

Foi na época do segundo império que se iniciou a construção de açudes de maior porte no Nordeste brasileiro. O primeiro grande açude foi o de Cedro, no município de Quixadá, Ceará. A construção de reservatórios se intensificou bastante a partir de 1944 quando houve um grande e drástico período de estiagem (PAIVA, 1982).

Os diversos açudes na região Nordeste têm importância econômica e social por satisfazerem os seguintes usos múltiplos: abastecimento de água, regularização da vazão de rios, obtenção de energia elétrica, irrigação, navegação, dessedentação de animais e aquicultura. Na estiagem, toda atividade humana depende desses mananciais, e a falta de água nos períodos de estiagens prolongadas, quando os açudes de pequeno porte secam, intensifica as fortes pressões sociais e o fenômeno de migrações aos centros urbanos, justificando a preocupação de alguns cientistas e ambientalistas, de que as guerras no futuro serão pela posse dos recursos hídricos (TUNDISI, 2003; SERPA, 1999).

A funcionalidade dos grandes reservatórios deve ser garantida através da gestão. Suas características de acumulação apresentam memória da operação passada, ou seja, as vazões liberadas num determinado período impactam na capacidade de liberação de vazões futuras por um longo período de tempo, normalmente, 2 a 5 anos (MENESCAL *et al.*, 2004). No semi-árido, os reservatórios se enchem durante o período chuvoso e perdem volume rapidamente no período de estiagem pelo consumo e pela evaporação. Aliado a esses fatores climáticos da região, o uso indiscriminado dos recursos hídricos tem contribuído, de forma intensa, para a depreciação da qualidade da água, ampliando assim os problemas de natureza ambiental (TUNDISI, 2003).

Para garantir o abastecimento nos períodos de secas extremas, os grandes açudes precisam ser mantidos o mais cheio possível, armazenando água dos anos normais para uso nos anos de seca, o que faz com que a sua disponibilidade média anual, para atendimento das demandas, seja muito baixa, cerca de 20 a 30% da capacidade de acumulação. Decorre disso que os grandes açudes perdem por evaporação, em torno de 2000 mm/ano, a maior parte de suas águas acumuladas. Em geral, a população não compreende essa retenção, tendo a falsa impressão de que a região dispõe de abundante água acumulada e que são pouco exploradas (MENESCAL *et al.*, 2004).

Em estudos de gerenciamento dos recursos hídricos, a avaliação de disponibilidade hídrica de bacias é condição necessária. Entretanto, a carência de dados introduz grandes incertezas nessa avaliação (DASSIE & MENDONÇA, 2001). Também é importante verificar o impacto ambiental que determinados usos causam nas águas dos reservatórios e observar as situações em que os diversos usos possam tornar-se conflitantes. Essa análise deve ser feita antes da construção do reservatório, na fase de projeto e após a construção. Em todas essas etapas, a presença de uma gestão ponderada evita que esses conflitos ocorram.

## **2.4 - Aspectos da Qualidade da Água nos Mananciais de Abastecimento do Semi-Árido**

De acordo com Margalef (1981), a qualidade da água de um corpo aquático é resultado da drenagem de sua bacia hidrográfica. Assim, essa qualidade depende da ocupação e dos usos do solo, sendo importante a gestão na bacia para preservação do corpo hídrico, do solo e da cobertura vegetal nativa.

É imprescindível que as margens do reservatório estejam protegidas por floresta ou mata ciliar para prevenir o assoreamento, evitando que materiais minerais se desloquem das margens para dentro do ambiente aquático. Não havendo essa mata ciliar, é necessário um trabalho de reflorestamento. Salvar as matas é importante para a estabilização das bacias de drenagem e para o seu regime hidrológico. As florestas também são úteis tanto pelo efeito das raízes na retenção dos solos e da percolação de poluentes, como pelo seu valor econômico e possibilidade de uso como áreas de recreação (MOTA, 1995).

Também é importante a manutenção de áreas alagadas em determinadas partes do rio (geralmente em meandros) e do reservatório. Essas áreas por serem naturalmente lânticas permitem que haja uma autodepuração e uma sedimentação de material particulado, melhorando

a qualidade da água a jusante, mas aumentando o assoreamento, que deve ser evitado ao máximo porque diminui a capacidade máxima de armazenagem do sistema (MARGALEF, 1983; MOTA, 1995; ESTEVES, 1998).

A maioria dos reservatórios do semi-árido é vulnerável às modificações qualitativas das águas armazenadas associadas aos problemas de salinização e a eutrofização e, quando essas modificações ocorrem, a restauração natural da qualidade é muito lenta. Arelado a esses problemas está a grande perda de volume de água por causa da evaporação e do elevado tempo de detenção hidráulica desses reservatórios que necessitam acumular um volume de água durante o período chuvoso que garanta o abastecimento na estação seca. Outros reservatórios, ao contrário, apresentam grande capacidade tampão, ocorrendo pouca variação na qualidade de suas águas, mesmo em épocas de estiagem prolongada. O açude Epitácio Pessoa (PB), por exemplo, mesmo com a contínua redução no volume acumulado entre os meses de maio de 2002 e março de 2003 (de 45 para 35% da capacidade máxima, respectivamente) não apresentou alterações importantes da qualidade ao longo da coluna d'água até 20 metros de profundidade, não sendo observado aspectos de salinização nem de eutrofização (PEDROSA, 2004; DINIZ, 2005).

Nas secas acentuadas, a maioria dos corpos aquáticos do semi-árido atinge níveis eutróficos e até hipereutróficos, e com a chegada das chuvas, passam a oligotróficos e mesotróficos (CRISPIM, LEITE & WATANABE, 2000). Para a melhor compreensão dos diferentes ambientes aquáticos através do índice de trofia, Margalef (1981), Calijuri (1988) e Esteves (1998) consideram que a aplicação das classificações tróficas deve ser feita apenas em um contexto regional, pois os corpos aquáticos são vulneráveis a impactos localizados que alteram o metabolismo ao modificar as interações ecofisiológicas do ambiente, sob as influências do clima, das condições geológicas, e do desenvolvimento agrícola, pecuário e industrial.

Na Paraíba, a partir da última década do século passado, diversos estudos que tiveram como principal objetivo a caracterização limnológica e sanitária de açudes no semi-árido paraibano, principalmente os destinados ao abastecimento humano, ganharam maiores destaques. Esses estudos, a exemplo das pesquisas realizadas por Ceballos (1995), Silans & Silva (1997), Ceballos *et al.* (1997), Ceballos, Diniz & König (1998), Tavares *et al.* (1998), König *et al.* (1999), Barreto (2001), Barbosa (2002), Diniz (2005), entre outros, disponibilizam informações de grande utilidade para as tomadas de decisão de gestão dos recursos hídricos paraibanos.

Sperling (2001) sugere diversas relações limnológicas para avaliação da qualidade da água em mananciais de abastecimento: nitrogênio/fósforo, fósforo/clorofila, ferro/manganês, relações iônicas, silício/fósforo e carbono orgânico total (CO<sub>T</sub>)/carbono orgânico dissolvido (COD). O

autor destaca a conveniência de usar um tratamento científico mais profundo dos dados já existentes, utilizando relações limnológicas úteis que contribuem eficientemente para o melhor conhecimento das estruturas e funções do manancial, podendo otimizar a exploração do recurso hídrico. O uso de informações obtidas através de estudo sistemático dos recursos hídricos pode ser exemplificado com a metodologia desenvolvida por Ceballos, König & Oliveira (1998). Aplicando de forma criteriosa a análise de componentes principais, os autores elaboraram um procedimento para a caracterização rápida do grau de degradação de ambientes aquáticos e reduziram um conjunto de quatorze variáveis necessárias para essa caracterização a um total de sete. Essas variáveis representavam o crescimento da biomassa algal e os níveis tróficos e sanitários, resultando num método bastante satisfatório e simplificado, podendo ser aplicado em outros açudes da região.

Tavares *et al.* (1998) ressaltaram a importância das chuvas como fator modificador da qualidade da água em represas do Nordeste. Em época chuvosa, observaram o arraste de material fecal e orgânico, rico em nutrientes eutrofizantes, para dentro da represa São Salvador (Sapé – PB). Esse arraste foi resultante do aumento das vazões do rio afluente que recebia também descargas da estação de tratamento de esgotos do município, e dos efeitos das entradas difusas desde as margens pelo escoamento da bacia de drenagem, provocando alterações acentuadas na qualidade da água. Ceballos (1995) observou que mesmo ocorrendo uma degradação na qualidade da água durante as primeiras chuvas, com aumento da turbidez, DBO<sub>5</sub>, sólidos e outras variáveis de qualidade, a continuidade do período chuvoso causava a diluição dos impactos e atenuava os efeitos do material aportado.

Koide & Souza (2001) sugerem que o monitoramento da qualidade da água seja feito em conjunto com o monitoramento hidrológico de bacias hidrográficas. Esse último pode envolver a medição sistemática de vazões em rios e outros aspectos do ciclo hidrológico e da Hidrologia, como a medição de variáveis climatológicas (pluviometria, umidade do ar e do solo, temperatura do ar, etc.), do comportamento de águas subterrâneas (nível de lençol freático, etc.), e da hidrodinâmica (correntes e fluxos em rios, lagos, estuários e baías). É ideal que sejam avaliados em conjunto dois aspectos dos ecossistemas aquáticos: qualidade e quantidade. Na prática, o monitoramento integrando qualidade e quantidade raramente acontece, principalmente devido à razão histórica da separação institucional dos organismos encarregados dos levantamentos hidrológicos e de controle de poluição.

## 2.5 - Ações Antrópicas nos Mananciais de Abastecimento do Semi-Árido

Os açudes do semi-árido contribuem, com suporte hídrico, para as atividades humanas. Essa função biológica e social está atrelada ao manejo e à forma de uso desses açudes, e quando não realizados de modo adequado podem causar elevados níveis de degradação dessas áreas e perdas da biodiversidade. Os diversos usos das águas causam impactos na sua qualidade, e tanto maiores serão esses impactos quanto menos criteriosos forem esses usos.

A agricultura é uma das atividades que mais degradam os ecossistemas aquáticos e terrestres. A utilização de fertilizantes inorgânicos na atividade agrícola, na proximidade dos mananciais aquáticos, tem aumentado as interferências na qualidade da água. Segundo Esteves (1998), as perdas de nutrientes a partir de terras cultivadas, podem ocorrer pelo carreamento da parte superior do solo pelas chuvas ou pela irrigação descontrolada, e por lavagem e percolação dos elementos solúveis, principalmente o nitrogênio, que pode contaminar o lençol freático. O manejo agrícola adotado revela as limitações do saber do produtor com relação à função ambiental desses ecossistemas. O manejo, quando não orientado, tem provocado alterações funcionais com a degradação dos açudes ou a sua substituição por áreas agricultáveis. Assim, os pequenos produtores, na luta pela sobrevivência, exploram exaustivamente a terra, dado o alto grau de pobreza, e impossibilidade de acesso a práticas modernas e conservacionistas. Já os grandes produtores, utilizando da própria modernização do processo produtivo e superexploram a terra pelo uso de equipamentos e produtos químicos em demasia. Em todos os casos, o fator preponderante é a eliminação da cobertura vegetal que todos, em maior ou menor grau, promovem (VASCONCELOS, 2005).

A agricultura realizada sem manejo reduz a disponibilidade hídrica da bacia, mas não é a única atividade que prejudica o seu potencial hídrico. Os usos múltiplos das águas pelo homem geram diversos impactos que necessitam de ações de controle para minimizar seus efeitos e evitar o estado de escassez. Usos consuntivos e não consuntivos e a não conservação ambiental da bacia prejudicam a qualidade da água dos mananciais e podem ser observadas em diversas atividades humanas.

Um estudo realizado por Lacerda (2001) no açude Taperoá II (semi-árido paraibano), evidenciou diversos impactos antropogênicos no açude em sua área circundante, entre eles: poluição da água e do solo pelo uso indiscriminado de agrotóxicos; poluição das águas com o uso para lazer de forma descontrolada; poluição com lixo e efluentes domésticos não tratados das

comunidades, assim como alta poluição das águas com lavagem de roupas; desperdício de água com sistemas de irrigação e culturas inadequados; redução do volume da água em níveis críticos, pela realização de atividades intensivas, a exemplo da irrigação; pesca predatória; desmatamento da mata ciliar; disseminação da algaroba na mata ciliar; e perdas das propriedades do solo pelo uso de práticas inadequadas. Além desses impactos também foram observados conflitos por ausência de gestão: conflito pelo uso das terras de vazante; conflito de uso da água entre as atividades de irrigação e de abastecimento humano e conflito de uso da água entre as atividades pesqueira e agrícola. Esses impactos são minimizados e até mesmo evitados quando a bacia hidrográfica possui uma política efetiva de gestão de suas águas.

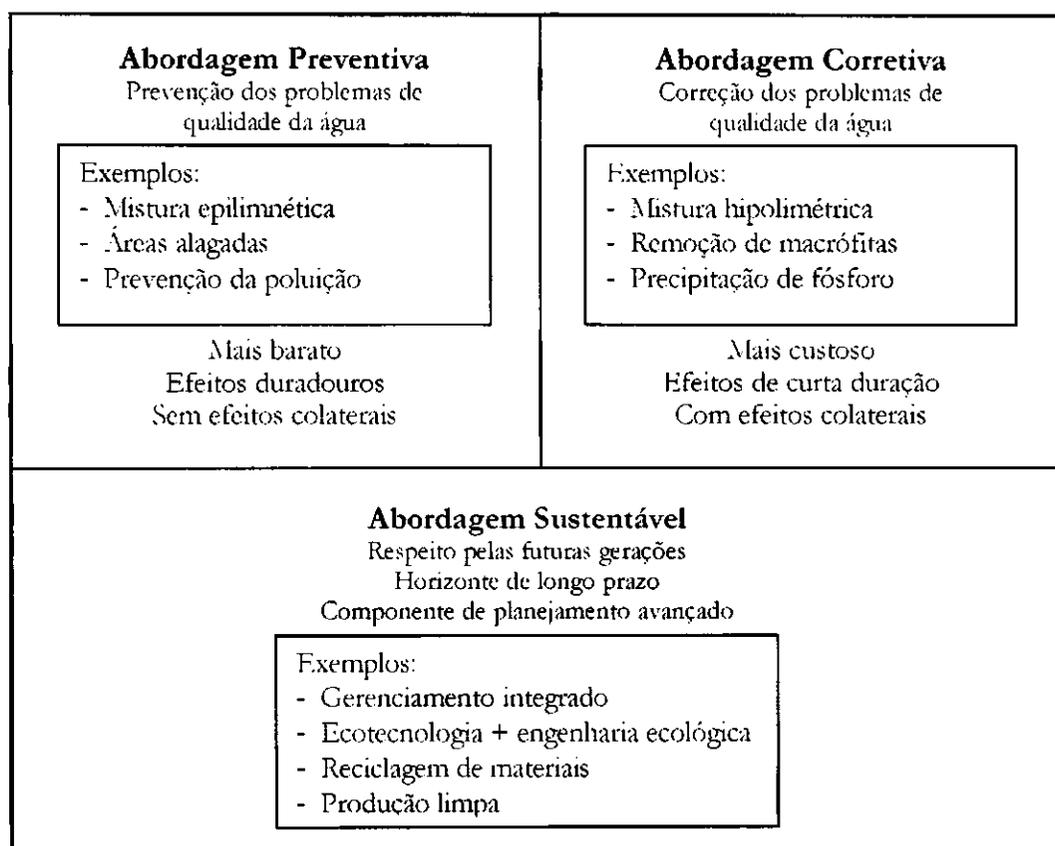
## **2.6 - Gestão Integrada de Reservatórios de Abastecimento no Semi-Árido para Preservação da Qualidade da Água**

As diferentes características observadas entre os reservatórios presentes na região semi-árida indicam a necessidade da implantação de uma Política de Recursos Hídricos com base na gestão integrada e descentralizada. Essa gestão deve envolver o poder público, os usuários e a sociedade civil. Nessa gestão devem ser priorizados os gerenciamentos da demanda e da oferta, e uma das fases é a conscientização da população usuária para evitar o desperdício e efetuar os manejos adequados da água e do solo, contando com programas de assistência técnica e educação ambiental (PEDROSA, 2004).

Uma importante ferramenta de gestão aplicada aos recursos hídricos é o monitoramento sistemático da qualidade da água. A interpretação dos dados obtidos viabiliza a tomada de decisão para mitigar os impactos ambientais negativos decorrentes das atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias de drenagem. Em reservatórios do semi-árido nordestino brasileiro, por estarem submetidos a condições climáticas peculiares, como a irregularidade espacial e temporal da precipitação e as altas taxas de evaporação durante quase todo o ano, os diagnósticos da qualidade das águas são subsídios para a otimização da operação desses ecossistemas aquáticos através, por exemplo, do controle das vazões efluentes, das atividades exercidas no reservatório e na bacia de drenagem, dentre outras ações (FREIRE & SANTAELLA, 2001). O gerenciamento integrado da bacia hidrográfica em que o reservatório está inserido é necessário para que ocorra o melhor aproveitamento das suas águas e que esse aproveitamento ocorra por um período de tempo maior.

O planejamento, o projeto e a operação de medidas estruturais e não estruturais relacionadas a recursos hídricos superficiais dependem da previsão de descargas líquidas. Contudo, a grande maioria dos reservatórios nos quais se necessita de gerenciamento não dispõe de informações a respeito das vazões de entrada (DASSIE & MENDONÇA, 2001). Além das vazões, os estudos de qualidade das águas superficiais e autodepuração são importantes para o manejo dos recursos hídricos, orientando as tomadas de decisões para sua utilização e proteção (von SPERLING, 1996). É fundamental que nesses corpos de água haja um gerenciamento que considere a bacia de drenagem como unidade de gestão, do contrário, as ações não terão caráter permanente, sendo apenas paliativas.

Na Figura 2.2 apresentam-se algumas abordagens para o gerenciamento da qualidade da água, com destaque para as principais diferenças entre as ações preventivas e as corretivas.



**Figura 2.2** – Principais abordagens para o gerenciamento da qualidade da água (STRAŠKRABA & TUNDISI, 2000).

A sustentabilidade hídrica é condição preponderante ao processo de implementação gradual do tão desejado e essencial desenvolvimento sustentável, e isso é somente possível através do balanço favorável entre a oferta e a demanda de água. Apenas um sistema integrado de

gestão de recursos hídricos regionais, conjugado em concordância com o Sistema Nacional e com os sistemas estaduais, é capaz de proporcionar o uso otimizado e racional dos recursos hídricos, superando as condições adversas naturais do semi-árido e favorecendo um desenvolvimento econômico que seja estável, ambientalmente saudável e socialmente justo.

STRAŠKRABA & TUNDISI (2000) enfatizam que para executar as atividades de proteção dos reservatórios é preciso conhecer os impactos a que os ambientes aquáticos estão sujeitos. Dentre eles é importante citar:

- Urbanização e despejo de esgotos sem tratamento;
- Desvio de rios e construção de canais;
- Mineração;
- Atividades industriais;
- Agricultura;
- Pesca;
- Aqüicultura;
- Introdução de espécies exóticas;
- Desmatamento nas bacias hidrográficas.

O conjunto dessas atividades causa impactos que devem ser atenuados ou controlados para reduzir ou atrasar seus efeitos. Alguns dos efeitos causados pelas atividades acima são os seguintes:

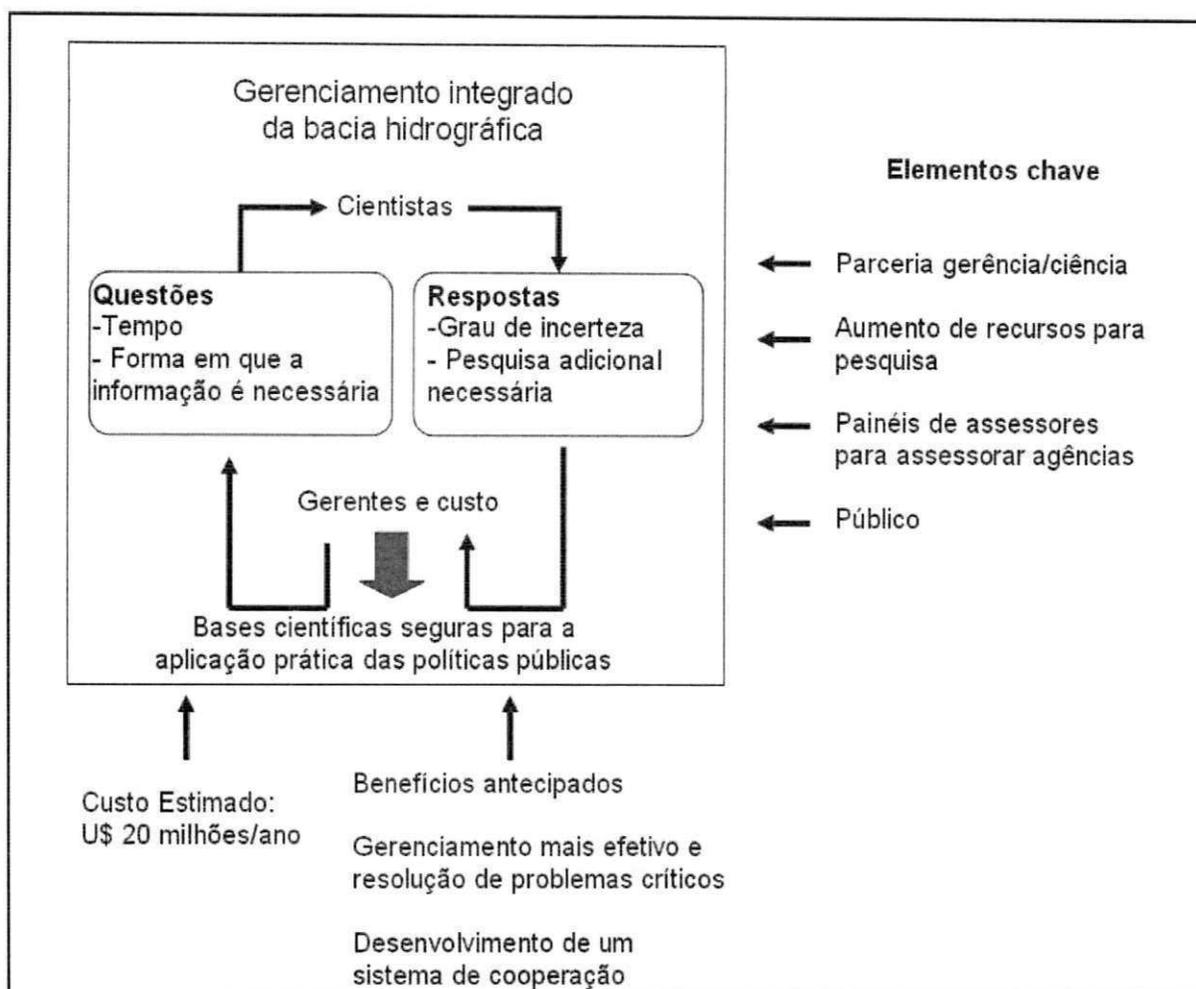
- Eutrofização;
- Aumento do material em suspensão;
- Assoreamento de rios, lagos e represas;
- Perda de biodiversidade;
- Alteração no ciclo hidrológico
- Alterações no volume das águas dos rios e das águas armazenadas;
- Alteração nos nível dos rios e nas áreas de inundação;
- Contaminação dos aquíferos;
- Aumento da toxicidade das águas e dos sedimentos;
- Perda da capacidade tampão (pela remoção de áreas alagadas e florestas ripárias);
- Expansão geográfica de doenças de veiculação hídrica;
- Degradação dos mananciais.

Diversas ações preventivas podem ser executadas ainda na fase de planejamento e de construção dos reservatórios para evitar ou minimizar os impactos acima. Por exemplo, antes da construção do reservatório, para evitar a rápida eutrofização, deve ser feita a retirada da flora local, pois do contrário, os lago irá ocupar uma área terrestre geralmente vegetada que morre e se decompõe. Os produtos da fermentação e da putrefação dessa biomassa deterioram a qualidade da água impedindo usos posteriores durante um tempo prolongado até que ocorra a estabilização do sistema. Fazer a retirada da vegetação não só previne a eutrofização como também evita que posteriormente ocorram acidentes à navegação devido à permanência de troncos e galhos na coluna de água.

Araújo & Santaella (2003) citam as seguintes medidas preventivas de controle de poluição das águas:

- Preservação, proteção das margens;
- Monitoramento dos mananciais;
- Planejamento territorial;
- Sistemas adequados de coleta de águas residuárias;
- Pré-tratamento e tratamento de águas residuárias industriais e domésticas;
- Reutilização e reciclagem de águas residuárias tratadas;
- Tratamento e disposição adequados para os resíduos sólidos;
- Controle da poluição atmosférica;
- Controle da poluição do solo;
- Educação ambiental;
- Aplicação da legislação pertinente.

Embora não haja grande dificuldade em se integrar o gerenciamento de quantidade e de qualidade do ponto de vista teórico, raramente essa integração é conseguida na prática, representando um grande obstáculo para a operação eficiente de sistemas e a utilização racional do recurso hídrico (AZEVEDO, PORTO & PORTO, 1998). Esse gerenciamento é importante para proteger o reservatório, com isso é necessário que a bacia hidrográfica à montante, o reservatório em si e o rio à jusante sejam estudados e monitorados. Esse tipo de gerenciamento é de longo prazo, mas é mais eficiente que métodos rápidos cujo objetivo é apenas a solução de problemas imediatos. Na Figura 2.3 está um exemplo de gerenciamento integrado de bacias hidrográficas.



**Figura 2.3** – Exemplo de um gerenciamento integrado de bacias hidrográficas (STRAŠKRABA & TUNDISI, 2000).

O ideal é que a gestão dos recursos hídricos seja enquadrada na bacia natural, ao invés de entre as fronteiras administrativas e políticas, pois o escoamento das águas na superfície segue a linha de máximo declive (e não as políticas), convergindo para formar os cursos d'água. Deve-se levar em consideração que, no interior de uma bacia, a utilização das águas superficiais e das subterrâneas é interdependente e é almejavél que o seja também a sua gestão (TUNDISI, 2003).

Infelizmente não há ainda no país a conscientização por parte dos usuários das águas represadas, gestores públicos e sociedade civil do quanto é importante o monitoramento contínuo e sistemático dos recursos hídricos, a fim de contribuir para a manutenção ou melhoria do padrão de qualidade dos mesmos.

## 2.7 - Modelagem Integrada como Ferramenta para Gestão de Reservatórios de Abastecimento no Semi-Árido

Modelos matemáticos para a simulação quantitativa e qualitativa da água têm sido utilizados como ferramenta de apoio às tomadas de decisões na gestão dos recursos hídricos. Embora os fenômenos hidrológicos, físicos, químicos e biológicos que ocorrem num ecossistema aquático sejam bastante complexos e ainda não perfeitamente equacionados, os modelos conseguem agrupá-los de uma maneira simples e prática. O uso desses modelos permite a simulação de eventos identificando os fatores que afetam a qualidade e/ou o volume armazenado de água, as condições futuras e as alternativas propostas para o sistema, auxiliando na sua gestão, podendo ser usados para pesquisa (compreensão dos fenômenos) e gerenciamento (uso prático) (GASTALDINI & TEIXEIRA, 2001).

Os modelos de qualidade mais usados são para uso em rios. Nesses ambientes, os fenômenos ligados ao transporte longitudinal da água prevalecem sobre aqueles que ocorrem nas direções vertical e transversal. Modelos para aplicação em rios incluem uma extensa faixa de modelos simples tipo Streeter-Phelps com duas variáveis de estado até o QUAL2E e semelhantes, mais complexos. No modelo desenvolvido por Streeter-Phelps em 1925, o balanço entre o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio resulta somente de dois processos, a reaeração atmosférica e a desoxigenação (consumo de OD na redução da DBO). Os autores apresentaram seu modelo na forma de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem. O QUAL2E é o mais conhecido da nova geração de modelos de qualidade de água e foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). O modelo pode simular a qualidade das águas de um sistema fluvial, combinando até quinze parâmetros de qualidade da água: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, algas (clorofila *a*), grupo nitrogênio (N-orgânico, N-amônia, N-nitrito e N-nitrato), grupo fósforo (P-orgânico e P-dissolvido), coliformes fecais, três substâncias conservativas e uma arbitrária não conservativa. Pode operar tanto em regime permanente como pseudo-dinâmico. O modelo QUAL2E permite computar múltiplos pontos de lançamento de efluentes, tributários, retiradas, incrementos positivos e negativos de vazão para cada trecho em simulação. É também capaz de calcular a vazão incremental necessária no curso d'água principal a fim de que um nível mínimo de oxigênio dissolvido seja mantido em todos os pontos do rio. Contudo, os efeitos das funções dinâmicas de força, como vazões de cabeceira ou descargas pontuais, não podem ser modelados no QUAL2E (GASTALDINI & TEIXEIRA, 2001).

Modelos quantitativos de água, que simulem eventos hidrológicos, são também fundamentais para a geração de dados que subsidiam o manejo dos reservatórios. A utilização de modelos determinísticos do tipo chuva-vazão para extensão de séries hidrológicas é um problema clássico em hidrologia (TUCCI, 1998). Não há um modelo que seja mais completo que o outro, e cada região tem suas peculiaridades que tornam necessários ajustes nos modelos existentes ou na elaboração de modelos específicos. Diversos modelos foram utilizados, nos últimos anos, para a obtenção de dados de reservatórios do semi-árido para auxílio à gestão, alguns exemplos são citados em seguida:

– Sarmiento (2004) fez uma avaliação estocástica do risco de colapso do sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande (PB). Esse risco foi modelado em um espaço pentadimensional, no qual o eixo do tempo foi construído utilizando-se um modelo estocástico de geração de vazões para rios intermitentes. O agravamento do risco de colapso ao longo de um ano futuro foi ajustado através de regressão não-linear múltipla. Com essa metodologia é possível estudar diversos cenários de abastecimento para a cidade de Campina Grande, inclusive pode se avaliar o risco futuro de colapso total.

– Silva & Lima (2004) apresentaram um modelo climático de previsão de pluviometria bastante consistente e de grande utilidade para a previsão de secas no estado da Paraíba. Foram considerados 72 postos pluviométricos distribuídos em três mesorregiões e a eficiência do modelo prognóstico foi avaliada no período de 1996 a 2001. Nos anos de 1996 e 2000, com ocorrência de chuvas acima da média, o índice de acerto do modelo foi superior a 80%, exceto para um dos períodos de chuva do ano de 2000. No ano de 1998, muito seco, o índice de acerto foi inferior a 80%, isso para o prognóstico do total pluviométrico mínimo esperado.

– Galvêncio & Sousa (2004) utilizaram o modelo de análise digital de terreno denominado TOPAZ (em inglês, TOpographic PArameteriZation) para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, obtendo os parâmetros fisiográficos necessários à maioria dos modelos hidrológicos. O uso desse modelo mostrou que há, nessa bacia, doze sub-bacias com áreas maiores ou iguais a 4.000 ha e comprimento mínimo de rio de 50 km. Esse estudo revelou, ainda, que o terreno apresentava, predominantemente, declividade na faixa de 0 a 2%, distribuído por quase toda a bacia hidrográfica. Informações como essas são importantes para a gestão integrada nessa bacia.

– Souza Filho & Campos (2005) utilizaram um modelo paramétrico para avaliar o potencial de salinização de reservatórios localizados no semi-árido. O modelo, através de simulação Monte Carlo, estimou a concentração de sais para as condições de estado de equilíbrio.

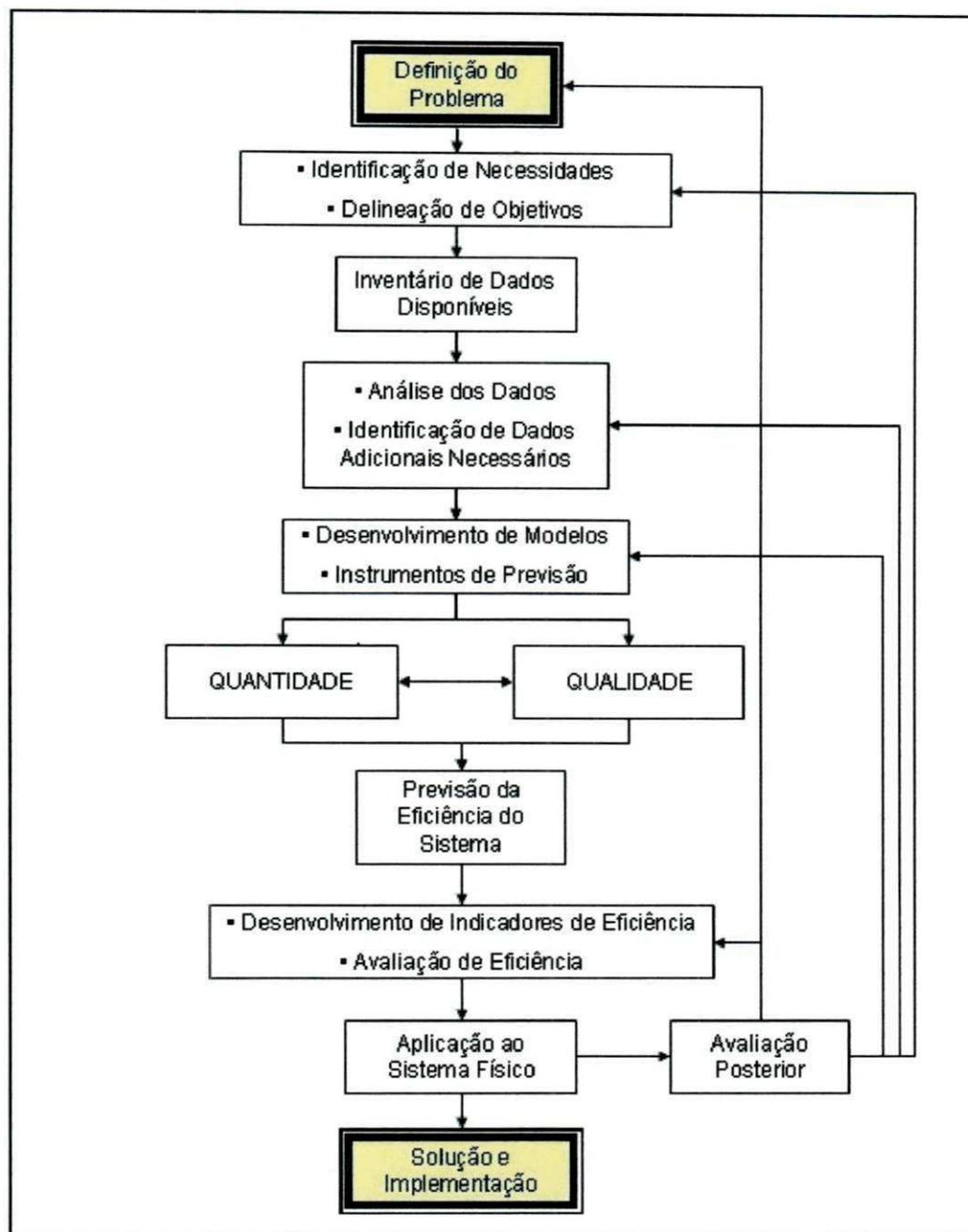
Esse modelo foi testado com os dados do açude Pereira de Miranda, na bacia do rio Curu no estado do Ceará. Foi possível, com esse modelo, construir o diagrama da salinidade para reservatórios, estimando-se a tendência da concentração de sais quando os reservatórios são operados com uma regra fixa de retirada durante um longo período de tempo.

– Oliveira *et al.* (2005) fizeram um estudo estimativo de evaporação em regiões do Cariri e Sertão da Paraíba (cidades de Boqueirão – latitude 07°29'S, longitude 36°07'W e altitude de 380 m; e Patos – latitude 07°01'S, longitude 37°17'W e altitude de 250 m), para o período de 01 de abril de 2002 a 31 de março de 2003. Os resultados mostraram que o coeficiente 0,70 de evaporação no tanque, rotineiramente usado no tanque "CLASSE A", ao invés de corrigir, pode contribuir para subestimar a evaporação nessas regiões, produzindo maior subestimação durante o período úmido.

Os modelos citados verificam apenas aspectos hidrológicos dos recursos hídricos e fornecem uma base de dados úteis para poder definir uma gestão integrada concisa. O uso de modelos integrados ainda é uma realidade bastante recente no país, e há pouquíssimos casos de desenvolvimento de tais modelos. No entanto, o seu uso ganha cada vez mais força devido à possibilidade e facilidade de se avaliar conjuntamente fenômenos hidrológicos e de qualidade, principalmente para fortalecer a gestão dos açudes do semi-árido.

Segundo Sanders *et al.* (1983) *apud* Azevedo, Porto & Porto (1998), “a separação histórica na análise dos aspectos de quantidade e qualidade de água é tão antiga quanto a própria hidrologia. Entretanto a variável aleatória de quantidade, seja essa observada como uma série contínua ou apresentada em intervalos discretizados, é a portadora das propriedades de qualidade e deve ser considerada como componente essencial dos processos físicos envolvidos na análise dos aspectos qualitativos”.

Nesse contexto, Azevedo, Porto & Porto (1998) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade de água. Esse sistema combinou o modelo de qualidade de águas QUAL2E com um modelo de simulação de rede de fluxo, o MODSIM, numa interface simples. Os autores propuseram a metodologia apresentada na Figura 2.4 para o desenvolvimento integrado de recursos hídricos. Através da simulação estocástica, o modelo permitiu a determinação da probabilidade de ocorrência dos resultados obtidos. No modelo proposto os aspectos de qualidade e quantidade foram separados em sub-problemas distintos e posteriormente foram resolvidos simultaneamente através da interação entre ambos.



**Figura 2.4** – Metodologia proposta por Azevedo, Porto & Porto (1998) para o desenvolvimento integrado de recursos hídricos.

Teixeira & Porto (2004) utilizaram o módulo AlocaLS, caracterizado pelo gerenciamento otimizado de quantidade de água em uma bacia hidrográfica, e o modelo QualidadeCLS, que determina os parâmetros de qualidade de água para cada valor de vazão otimizada. Ambos os modelos foram conectados ao Sistema AcquaNet, e utilizavam o mesmo banco de dados sendo possível analisar integralmente os aspectos de quantidade e qualidade de água. Essa metodologia foi aplicada na bacia do rio Piracicaba (SP) e o sistema mostrou-se eficiente como uma ferramenta de auxílio à gestão, avaliando de forma integrada os aspectos de quantidade e

qualidade de água e também determinando as concentrações dos poluentes, relacionando níveis de tratamentos para os lançamentos de efluentes descarregados no corpo d'água.

Albano (2004) desenvolveu uma interface computacional para integração de dois modelos matemáticos. Um deles refere-se a um modelo de quantidade de água em rede de fluxo (AcquaNet) e outro era um modelo de qualidade de água aplicado em represas (CE-QUAL-R1). Como alternativa de gerenciamento quali-quantitativo de água, o autor aplicou essa metodologia à represa Jaguari-Jacaré no Sistema Cantareira em São Paulo, possibilitando a simulação de retirada de água em diversas profundidades da coluna d'água e a análise dos impactos sobre o perfil de temperatura da água na represa a partir das vazões resultantes do modelo de quantidade.

O estudo de eventos hidrológicos extremos, excepcionalmente os eventos de seca, é importante para o Nordeste. As previsões meteorológicas, que envolvem variáveis climáticas e temporais, precisam ser incorporadas ao processo decisório, na fase de planejamento e construção de obras, e, sobretudo, na fase de operação em tempo real, avaliando suas implicações no uso agrícola, na conservação da água e em eventuais racionamentos. Desse modo, modelos hidrometeorológicos, envolvendo o trinômio previsão-precipitação-escoamento, e sistemas de alerta de cheias e secas, essas últimas compreendendo previsões climáticas sazonais, de difícil determinação científica, mas de incomensurável alcance social, precisam ser desenvolvidos (VIEIRA, 2002b). Assim, quando as previsões climáticas são incorporadas ao planejamento da operação de açudes, está se construindo uma ferramenta de gerenciamento para diminuir as incertezas das entradas de água no período chuvoso (MENESCAL et al., 2004).

Atualmente a previsão climática possui algumas limitações: ela pode ser feita com no máximo 4 meses de antecedência e para um grupo de 3 a 4 meses. Além disso, essa previsão é válida para uma grande região (cerca de 500.000 km<sup>2</sup>), podendo haver variação dos parâmetros climáticos tanto no tempo cronológico como no espaço. O acerto dessa previsão pode chegar a 90%, dependendo de valores extremos de variáveis atmosféricas e oceânicas (SEMARH, 2001).

Os diversos modelos existentes, que consideram os aspectos de qualidade e quantidade de água, contribuem consideravelmente para a compreensão dos fenômenos que ocorrem nas bacias do semi-árido. Esses modelos são ferramentas importantes quando se deseja implantar um sistema integrado de gestão que atue de modo eficiente na preservação dos recursos hídricos da região, e faz-se necessário que o uso de tais modelos seja cada vez mais difundido entre os gestores, tornando-os ferramentas comuns e eficientes para auxílio às tomadas de decisões.

Num ecossistema aquático não ocorre separação entre os fenômenos quantitativos e os qualitativos, de modo que esses são inter-relacionados, e processos que alteram a quantidade de água podem ocasionar alterações na qualidade da mesma. Embora os modelos integrados representem esses fenômenos de modo mais satisfatório, não se dispondo de uma metodologia que integre satisfatoriamente os processos hidrológicos, climáticos e qualitativos, o uso de qualquer modelo que considere isoladamente um desses fatores representa um bom apoio à gestão. Os gestores, entretanto, devem buscar a compreensão integrada desses fenômenos para que as ações sejam mais funcionais.

### METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se a metodologia para concepção de um modelo de previsão de qualidade de água para reservatórios de abastecimento do semi-árido. Para isso, primeiramente foi concebido um esboço do modelo a partir do qual foi iniciado todo o processo de desenvolvimento do seu algoritmo. Em seguida, foi criado um banco de dados com informações fornecidas por especialistas. Essas informações serviram de base de comparação para que o modelo fornecesse resultados condizentes com os dados de entrada. Por fim, escolheu-se um caso de estudo para que o modelo fosse aplicado e analisado o nível de acerto das suas previsões e as limitações de seu uso.

#### 3.1 - Formulação do Primeiro Esquema do Modelo de Previsão

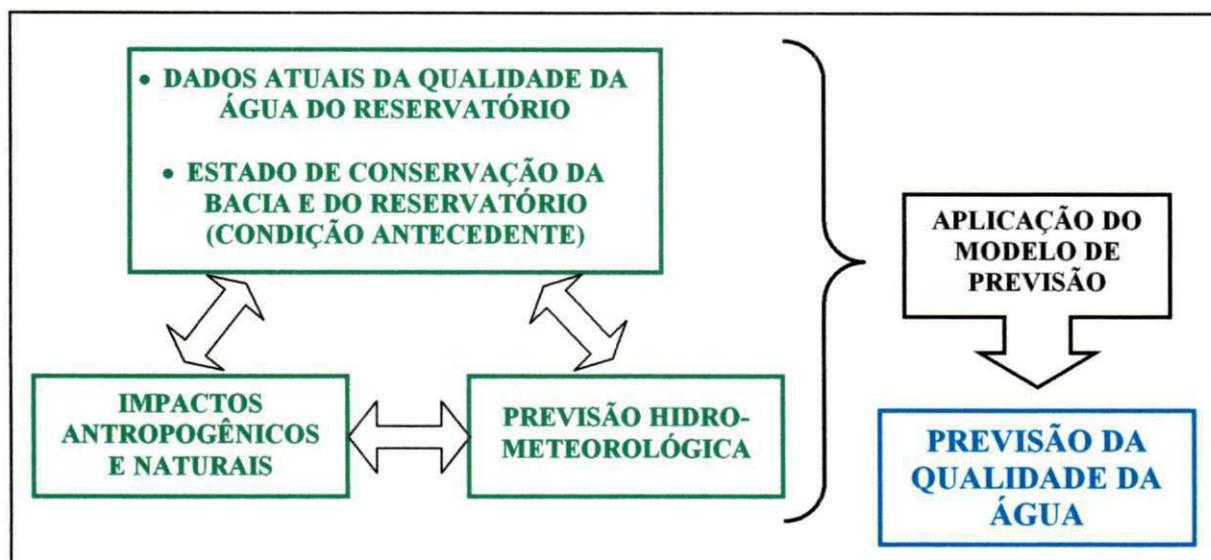
O principal objetivo da elaboração deste modelo de previsão de qualidade de água foi auxiliar na gestão dos reservatórios de abastecimento localizados no semi-árido, não apenas considerando o volume armazenado, mas também a qualidade da água bruta. Basicamente buscou-se respostas para os seguintes questionamentos:

- 1 – Ao chover, qual seria a qualidade ao término da estação chuvosa?
- 2 – Se não chover, até quando essa água apresenta qualidade satisfatória para ser tratada para abastecimento público?

Se os resultados fornecidos pelo modelo auxiliarem os gestores a obter as respostas para as questões acima, então ações preventivas poderão ser aplicadas, evitando ou minimizando os impactos negativos e garantindo a qualidade adequada para abastecimento por mais tempo, sem a necessidade de medidas corretivas, que são difíceis de aplicar e onerosas.

Partindo dessa proposição, buscou-se desenvolver uma metodologia que agregasse de modo satisfatório os dados de qualidade e de quantidade de água e que, com base na previsão meteorológica, indicasse qual a possível qualidade das águas do reservatório resultante dos efeitos climáticos.

Foi elaborado um esquema inicial que serviu de base para a construção do modelo integrado (Figura 3.1). Nesse esquema, o sistema foi representado pelos dados qualitativos atuais do reservatório e pelo estado de conservação da bacia de drenagem e do próprio reservatório, que em conjunto com a previsão hidrometeorológica e os impactos antropogênicos e naturais esperados, compõe o corpo de informações que será trabalhado pelo modelo, resultando na previsão de qualidade de água.



**Figura 3.1** – Primeiro esquema concebido para o modelo de previsão de qualidade de água.

Partindo do primeiro esquema formulado para o modelo, buscou-se determinar quais os dados de entrada que lhe seriam fornecidos e desenvolver um algoritmo adequado para agregá-los.

Por ser um modelo conceitual de base lingüística, os processos de agregação buscados não englobariam relações numéricas entre as variáveis. Portanto, as respostas fornecidas pelo modelo teriam de ser obtidas através de comparações entre os dados de entrada atuais e os efeitos esperados para a situação hidroclimática proposta. Esses efeitos esperados constituíram um banco de dados que foi formado com as séries históricas de qualidade de água do reservatório estudo de caso, com as séries históricas de dados hidrológicos desse reservatório e com as informações fornecidas por especialistas em reservatórios para abastecimento urbano no semi-árido.

### 3.2 - Entrevistas com Especialistas

Para a criação de um banco de dados com informações sobre a variação da qualidade da água esperada em reservatórios de abastecimento do semi-árido frente às condições hidroclimáticas, foram realizadas entrevistas com 10 pesquisadores especialistas com estudos limnológicos desenvolvidos nesses ecossistemas.

Foram entrevistados especialistas da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba e Universidade Federal de Campina Grande, com doutorado em áreas afins ao tema dessa pesquisa e com diversos projetos nas áreas de limnologia, engenharia sanitária, saneamento ambiental, ecologia, eutrofização, engenharia hidráulica e operação de reservatórios.

Os campos de formação do grupo de especialistas abrangiam doutorados nas áreas de Ciências Biológicas, Botânica, Ecologia, Recursos Naturais, Recursos Hídricos, Hidrobiologia e Saneamento Ambiental. O grupo de especialistas era, portanto, interdisciplinar e com bastante experiência teórica e prática.

Inicialmente, as entrevistas eram realizadas através de conversas gravadas em áudio e vídeo, em que os especialistas discorriam sobre os diversos comportamentos observados em reservatórios do semi-árido, as peculiaridades desses sistemas e como os fenômenos hidroclimáticos alteram as características qualitativas da água armazenada.

Posteriormente, aplicava-se um questionário que tinha como objetivo sintetizar as principais idéias apresentadas pelos especialistas. A pesquisa foi feita individualmente, e um especialista não tinha acesso às respostas fornecidas pelos demais. Na Figura 3.2 se apresenta o questionário aplicado aos especialistas.

As legendas para os parâmetros de qualidade tiveram a função de facilitar a transferência das respostas para uma planilha eletrônica. As questões de 1 a 8 objetivaram selecionar variáveis de qualidade de água mais representativas para os diversos usos de um reservatório. Assim, seria possível escolher o conjunto de variáveis mais importante para o objetivo proposto para o modelo. Desse modo, caso o modelo proposto tivesse o intuito de gerar cenários de salinização, o modelador teria a informação de quais os parâmetros indispensáveis a serem utilizados (obviamente que isso numa condição ideal em que o modelador tivesse à disposição uma série longa e com muitas variáveis de qualidade de água monitorados).

<b>Questionário para os Especialistas</b>				
<b>Legenda:</b>				
1 – pH	4 – OD	7 – íons	10 – turbidez	13 – nutrientes
2 – temperatura	5 – DBO	8 – CE	11 – algas	14 – metais pesados
3 – alcalinidade/dureza	6 – DQO	9 – sólidos	12 – contaminação bacteriológica	
1) Para uma avaliação rápida da qualidade da água de um reservatório destinado para abastecimento, quais as variáveis mais relevantes?				
2) Para uma avaliação rápida da qualidade da água de um reservatório destinado para abastecimento, quais as variáveis menos relevantes?				
3) Para fins da avaliação da evolução do estado trófico, quais as mais relevantes?				
4) Para fins da avaliação da evolução do estado trófico, quais as menos relevantes?				
5) Para fins da avaliação da evolução do estado de salinidade, quais as mais relevantes?				
6) Para fins da avaliação da evolução do estado de salinidade, quais as menos relevantes?				
7) Para fins da avaliação da qualidade microbiológica, quais as mais relevantes?				
8) Para fins da avaliação da qualidade microbiológica, quais as menos relevantes?				
<b>PARA AS QUESTÕES 9 A 14 INDICAR SE O VALOR AUMENTA (A) OU DIMINUI (D)</b>				
9) Quais as variáveis mais susceptíveis a variações em um período de estiagem?				
10) Quais as variáveis mais susceptíveis a variações em um período EXTREMO de estiagem?				
11) Quais as variáveis mais susceptíveis a variações em um período de chuvas?				
12) Quais as variáveis mais susceptíveis a variações em um período EXTREMO de chuvas?				
13) Nas primeiras chuvas da estação chuvosa, quais as variáveis que sofrem influência?				
14) Quais as variáveis que apresentam estratificação sazonal ou diária?				

**Figura 3.2** – Conteúdo do questionário entregue aos especialistas para avaliação sobre a qualidade de água em reservatórios do semi-árido.

Posteriormente foi determinado que o modelo seria desenvolvido para uso como ferramenta de apoio à gestão de reservatórios para abastecimento. Assim, os resultados obtidos através das questões 3 a 8 não foram utilizados.

Através das questões 9 a 14 se obtiveram as relações de causa-efeito entre as condições hidroclimáticas e as variações dos padrões de qualidade de água do reservatório. Essas relações serviram de base de comparação para que o modelo pudesse determinar a qualidade prevista de acordo com as informações de entrada fornecidas. Obteve-se com essas questões o resultado da qualidade ao final do processo hidrológico citado, considerando-se diversos estados da bacia hidrográfica indicados pelos entrevistadores. Essas questões, em conjunto com as conversas gravadas, foram as informações principais para a elaboração do modelo, e o banco de dados organizado permitiu que as variações qualitativas ocorridas em reservatórios do semi-árido fossem sintetizadas.

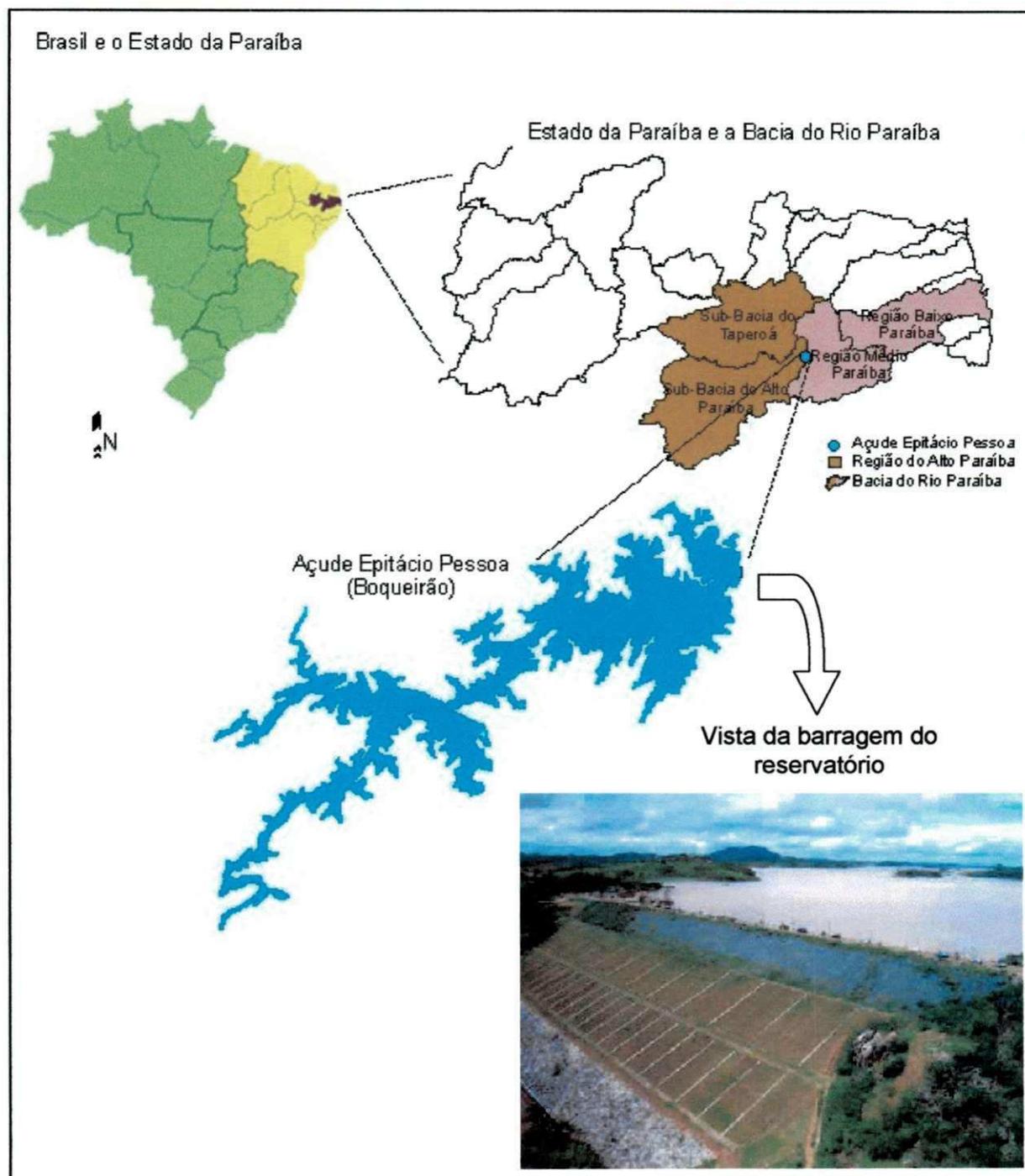
Essa etapa da entrevista é fundamental no desenvolvimento de um modelo de base conceitual e será através desses conhecimentos que os resultados de previsão da qualidade da água serão gerados.

### **3.3 - Caso de Estudo para Aplicação do Modelo**

Para a aplicação do modelo desenvolvido de previsão de qualidade da água foi escolhido o açude Epitácio Pessoa, por ser um reservatório do semi-árido paraibano de grande importância sócio-econômica na região. Esse açude está localizado no município de Boqueirão (07°29'20"S e 36°17'03"W), estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, numa altitude de 420 m, entre as coordenadas 07°28'04" e 07°33'32" de latitude Sul e entre 36°08'23" e 36°16'51" de longitude Oeste. O reservatório dista cerca de 40 km da cidade de Campina Grande, principal cidade por ele abastecida.

Esse reservatório recebe águas provenientes da drenagem de uma das maiores bacias hidrográficas do estado da Paraíba: a sub-bacia do Alto Paraíba (que compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba) (GALVÃO & GOMES FILHO, 2003). A sub-bacia do Alto Paraíba localiza-se na região dos Cariris Velhos, a com menor índice pluviométrico do Brasil (precipitações entre 150 e 300mm anuais). O clima dessa região é semi-árido, quente e seco, com máximas de 34°C e mínimas de 18°C. As chuvas, quando ocorrem, duram de três a quatro meses do 1º semestre e são freqüentes os denominados "veranicos", períodos de curtas secas dentro dos períodos chuvosos (SILVA *et al.*, 1987).

A bacia hidrográfica do rio Paraíba é constituída pela região do Alto Paraíba (formada pela sub-bacia do Alto Paraíba em conjunto com a sub-bacia do Taperoá) e pelas regiões do Médio e do Baixo Paraíba (Figura 3.3). Essa bacia é uma das mais importantes bacias hidrográficas do Nordeste, com uma área de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a 34,0% do território paraibano.



**Figura 3.3** – Mapa de localização do açude Epitácio Pessoa (PB). (Fotografia: Marcus Antônio – disponível em <<http://www.paraiba.pb.gov.br>>. Acesso em: 20 abr. 2006)

Os 78 municípios que compõem essa bacia abrigam aproximadamente 1.800.000 habitantes, cerca de 55,0% da população total do estado (LMRS, 2004). Na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, a população é de cerca de 25.000 habitantes, dos quais 53,5% vivem em áreas urbanas e 46,5% nas áreas rurais, distribuídas em três municípios: Boqueirão, Cabaceiras e Barra de São Miguel (IBGE, 2004).

Na bacia do rio Paraíba, o açude Epitácio Pessoa é o maior e o principal reservatório, e se destina a múltiplos fins, tais como: pesca, irrigação, piscicultura, recreação, lavagem de roupas, higiene pessoal, abastecimento sem tratamento prévio e abastecimento após potabilização. Originalmente, o açude tinha seus usos previstos para: abastecimento humano, irrigação, perenização do rio Paraíba, piscicultura, turismo e geração de energia (RÊGO, ALBUQUERQUE & RIBEIRO, 2000), mas esse não foi implantado, bem como os projetos de piscicultura e turismo aconteceram em pequena escala. Suas águas abastecem a cidade de Campina Grande, os distritos de Galante e São José da Mata e as cidades do compartimento da Borborema (municípios de Boqueirão, Pocinhos, Queimadas, Caturité, Riacho de Santo Antônio), além de outros núcleos populacionais menores, rurais e urbanos, favorecendo ao todo uma população estimada em mais de meio milhão de pessoas (DNOCS, 1990; RÊGO et al., 2001; LMRS, 2002). Até fevereiro de 1999, suas águas eram liberadas através da descarga de fundo para o abastecimento urbano e rural, perenização do rio e diluição dos esgotos de mais de 14 municípios a jusante, dentre eles: Alcantil, Pilar, Santa Rita, Natuba e Mogeiro (SOUZA, 2001). A partir de março de 1999 foi suspensa judicialmente essa descarga

A capacidade máxima de armazenamento do reservatório foi estimada no projeto original em 536.000.000 m<sup>3</sup>, mas essa estimativa apresentava erros técnicos na curva cota-área-volume e, posteriormente, com realização de nova batimetria, verificou-se grande diferença entre nova curva e a projetada (RÊGO et al., 2001). Portanto, não se tem a capacidade original do reservatório, de modo que, atualmente, com dados da batimetria realizada pela Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais (SEMARH) em conjunto com o Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto (LMRS) em 2004, a capacidade máxima de armazenamento do reservatório está estimada em aproximadamente 411.000.000 m<sup>3</sup> (LMRS, 2005)\*. O tempo de detenção hidráulica desse açude é de 355 dias (DINIZ, 2005).

---

\*COMUNICAÇÃO PESSOAL. (LMRS – Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba. **Curva cota-área-volume de 2003 do açude Boqueirão**. Campina Grande, 2005).

O açude Epitácio Pessoa é considerado um reservatório de grande porte, represando as águas dos rios Paraíba e Taperoá com uma barragem de 43,9 m de altura, 347,0 m de comprimento e composta por camadas de terra e pedras. A tomada d'água é situada próxima à barragem e a estação de tratamento de água (ETA) localiza-se no distrito de Gravatá (município de Queimadas), a 22,0 km do açude. Sua construção pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) ocorreu entre 1952 e 1956, tendo sido inaugurado em janeiro de 1957 pelo presidente Juscelino Kubitschek, consolidando na sua inauguração, a política da construção de açudes do Governo Federal que era apresentada como solução definitiva para a deficiência hídrica da região Nordeste (SOUZA, 2001).

O nome popular do açude – açude de Boqueirão – foi atribuído ao próprio município, e originado de uma grande abertura (boca) que o rio Paraíba fez ao longo de milhares de anos na Serra de Carnoió. O nome oficial do açude é uma homenagem ao único presidente do país nascido no estado da Paraíba, o qual, no seu governo, intensificou o programa de açudagem através do Ministério de Viação e Obras Públicas (SOUZA, 2001).

Em relação aos aspectos geomorfológicos, o município encontra-se cercado por uma cordilheira fragmentada, por algumas montanhas baixas ao Sul e pelas águas do açude ao Norte. Entre as serras mais destacadas estão as de Pedra d'Água, Carnoió, Monte, Facão e Macaco. O quadro geológico é composto por magmatitos gnáissicos, fundamentalmente xistosos, pertencentes ao embasamento cristalino de baixa infiltração e conseqüente alto escoamento superficial. O solo da região é arenoso e argiloso com vegetação rica em facheiro, xique-xique, macambira e coroa-de-frade, mandacaru, palmatória e cumbeba (DNOCS, 1990).

Localizado em plena região semi-árida, esse reservatório esteve com baixo volume armazenado nos anos de 1997 a 1999, e nos anos de 2001 e 2003. Nesses períodos de escassez, quase houve colapso do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande e região. Segundo Guimarães *et al.* (2005), durante esses períodos, a evolução temporal dos dados de qualidade da água do açude Epitácio Pessoa mostrou uma piora na qualidade menor que o esperado, mas verificou-se um processo gradativo de deterioração (considerando-se a qualidade para abastecimento urbano), que pode ou não acelerar-se com as crises quantitativas, sendo necessário, o quanto antes, a implantação de um sistema de gestão integrado que considere os aspectos qualitativos e quantitativos.

### 3.4 - Levantamento de Dados Qualitativos e Quantitativos

Para estudar o comportamento quali-quantitativo do açude Epitácio Pessoa e para aplicar o modelo de previsão de qualidade de água foram utilizados dados oriundos das seguintes fontes:

- Série histórica de dados de qualidade da água do açude Epitácio Pessoa, de abril de 1988 a setembro de 2005, fornecida pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA). Esses dados são referentes aos parâmetros de qualidade físicos e químicos: aspecto, sabor, odor a frio, odor a quente, temperatura, cor aparente, turbidez, pH, sólidos dissolvidos totais, dióxido de carbono, oxigênio consumido, amônia, nitrato, nitrito, alcalinidade de hidróxidos, alcalinidade de carbonatos, alcalinidade de bicarbonatos, alcalinidade total, cálcio, magnésio, dureza, ferro, cloreto, sulfato, condutividade e salinidade. Esses dois últimos começaram a ser determinados a partir de fevereiro de 2004;
- Série mensal de volume retirado do reservatório para abastecimento, fornecida pela CAGEPA, referente aos meses de dezembro de 1997 a dezembro de 2003;
- Séries históricas diárias de volume acumulado no açude Epitácio Pessoa, área do espelho d'água do reservatório e de precipitação registrada nos postos pluviométricos localizados na região do Alto Paraíba, fornecidas pelo Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba (LMRS), de maio de 1994 a agosto de 2005;
- Série mensal de climatologia (média mensal dos valores de precipitação observados ao longo de 30 anos – de 1975 a 2005) do posto pluviométrico localizado próximo à torre de captação, fornecida pelo LMRS;
- Dados mensais de lâminas evaporadas estimadas obtidas por Oliveira (2003), referentes aos meses de janeiro de 2002 a outubro de 2003. Para os demais meses dos demais anos foram utilizados as médias dos valores mensais dos anos de 2002 e 2003.

Os dados de qualidade de água do reservatório não apresentaram regularidade nas datas de coleta e do local de amostragem. Inicialmente as coletas eram realizadas anualmente, passando depois a serem semestrais (havendo anos em que não ocorreu essa coleta), e posteriormente mensais. Entre o segundo semestre de 1998 e o primeiro semestre de 2000 (período em que o sistema de abastecimento esteve em iminência de colapso por causa do baixo volume armazenado no reservatório), as amostras para análise da qualidade de água passaram a ser coletadas semanalmente. Até 1998, essas amostras foram coletadas no próprio reservatório e, a partir daquele ano, as coletas passaram a ser realizadas na entrada da ETA de Gravatá.

Recentemente, esses dados de qualidade deixaram de ser arquivados brutos (laudos do laboratório, em papel, de difícil consulta – velhos, rasurados, faltando algumas informações de datas e horários de coletas) e passaram a ser arquivados em planilhas digitais. De toda a série disponível foram excluídos os dados com valores duvidosos ou incompletos, e foi utilizado o valor médio mensal para os anos com coletas semanais (exceto para o cálculo do balanço de massa, mantendo-se os valores iniciais e finais para cada mês). A partir dessa seleção de dados, foram utilizadas as séries de qualidade de água relativas aos seguintes parâmetros: sólidos dissolvidos totais, alcalinidade total, cálcio, magnésio, dureza e cloretos. Portanto, a série resultante adequada para modelagem (Tabela A, em anexo) não possuía dados de nutrientes, apenas parâmetros de qualidade relacionados ao estado de salinização das águas do reservatório.

A CAGEPA realiza o monitoramento da água bruta do manancial na captação apenas para determinar a quantidade dos produtos químicos que deve ser utilizada nos processos de tratamento e correção do pH. Isso faz com que a análise desses dados possa apresentar resultados pouco acurados e imprecisos, não representando um material de muita qualidade para interpretações mais precisas do comportamento daquele corpo aquático. A Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), o órgão ambiental do estado da Paraíba, é que faz a verificação, através dos dados fornecidos pela CAGEPA, se os padrões legais de potabilidade fixados pela Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde estão sendo obedecidos e se o corpo hídrico está de acordo com os limites e as condições estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/05 referentes à classe do manancial.

Para os meses desprovidos dos valores de volume retirado para abastecimento, foi adotado, como volume de abastecimento, a média mensal dos anos com registros ou os valores do ano mais semelhante em termos de volume armazenado e condições climáticas – o que fosse considerado mais conveniente. Esses valores adotados estão explicitados na Tabela B, em anexo.

Os dados de volume acumulado e área do espelho d'água fornecidos pelo LMRS são provenientes de leituras em réguas limnimétricas e posteriormente relacionados com a curva cota-área-volume do reservatório (foi utilizada a curva mais recente). Esses dados passaram a ser monitorados pelo LMRS a partir de 1994, antes o DNOCS exercia essa função, mas infelizmente não existe atualmente registro da série anterior a 1994.

Para avaliação do montante precipitado na bacia de drenagem, utilizou-se a média aritmética mensal das chuvas registradas nos postos pluviométricos localizados na região do Alto Paraíba. Também foram utilizados os valores de precipitação do posto mais próximo à torre de captação para uma estimativa do volume precipitado diretamente sobre o açude.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 - Desenvolvimento do Modelo de Previsão da Qualidade da Água

Por meio da metodologia descrita no Capítulo 3 e dos dados obtidos, conseguiu-se elaborar as diretrizes básicas para o desenvolvimento de um modelo conceitual integrado qualitativo para aplicação em reservatórios do semi-árido brasileiro.

Neste capítulo, o modelo proposto é apresentado integralmente, conforme foi desenvolvido através da metodologia utilizada, inclusive com as discussões necessárias sobre suas características, parâmetros de entrada escolhidos, limitações e a margem de segurança dos resultados obtidos com a sua utilização.

### 4.1.1 - Concepção

A previsão hidrometeorológica, um dos dados de entrada do modelo, pode ser avaliada através da precipitação esperada (sobre a bacia e sobre o reservatório) para o período que se deseja simular a qualidade da água do reservatório. Dessa forma, o valor de precipitação prevista seria classificado como **Alta**, **Intermediária** ou **Baixa**, cada uma com subdivisões, ou ainda como **Nula**. Essa classificação levaria em consideração a climatologia do período e uma metodologia para classificação de períodos como seco, normal ou chuvoso. Uma série histórica longa de precipitação em postos pluviométricos bem distribuídos na área da bacia e no entorno do lago é importante para a determinação de períodos normais, secos e chuvosos e contribui para a melhor compreensão dos efeitos climáticos sobre a qualidade da água do reservatório.

Uma sugestão para a classificação dos períodos de seca e de chuva na bacia é a utilização do critério de observação do mês em que se verificar uma transição brusca na precipitação, tomando como base os dados climáticos, adotando-se como mês de transição aquele em que a precipitação for em torno de 50% daquela do mês posterior ou anterior. Sansigolo (1989) e Ceballos (1995) utilizaram critérios de classificação semelhantes ao sugerido acima.

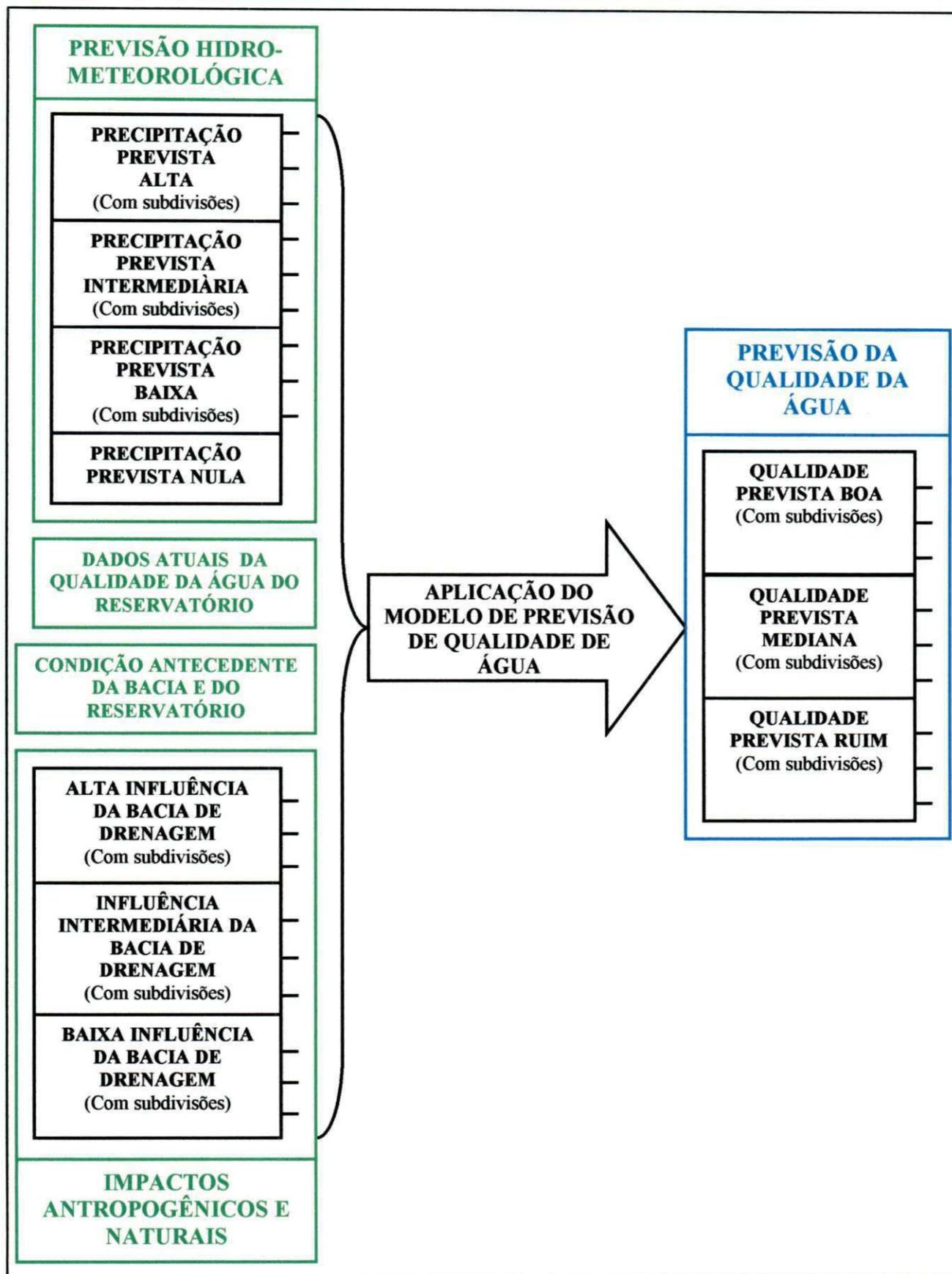
A precipitação que ocorre na bacia causa uma influência distinta da precipitação que ocorre diretamente sobre o açude, e ambas alteram as características físicas, químicas e biológicas da água armazenada.

A principal **influência da precipitação sobre a bacia** está no aporte de deflúvio que chega até o reservatório. Em alguns reservatórios do semi-árido (como é o caso do açude Epitácio Pessoa) os principais rios afluentes são intermitentes e somente nos períodos chuvosos é que apresentam vazão. É importante determinar o montante escoado durante esse período pois esse aporte representa uma “lavagem” da bacia e resulta na contribuição de materiais alóctones que alteram as características qualitativas da água armazenada e assoreiam o reservatório.

Segundo Tundisi (2003), o gerenciamento integrado de um reservatório deve ter como principal objeto de estudo a bacia de drenagem porque a qualidade da água armazenada depende das interações entre os sistemas terrestres e aquáticos e a forma de gestão aplicada à bacia influi diretamente na qualidade da água. Por ser difícil a medição do volume afluente, e por vários reservatórios do semi-árido não apresentarem postos fluviométricos à montante, modelos do tipo chuva-vazão não podem ser utilizados para inferir o volume aportado ao reservatório. Neste trabalho, optou-se por reconstituir o balanço hídrico para o açude Epitácio Pessoa determinando, assim, o montante aportado.

A Figura 4.1 apresenta a concepção do modelo desenvolvido, explicitando o conjunto de informações que compõe os dados de entrada que são agrupados ao se aplicar o modelo de previsão de qualidade de água fornecendo, como resultado, a qualidade de água prevista.

A **influência da precipitação sobre o açude** está relacionada ao volume que cai diretamente sobre ele, que tem efeito diluidor sobre a concentração de alguns parâmetros de qualidade (principalmente nas camadas mais próximas da superfície) e atenuador do efeito de concentração provocado pela evaporação no reservatório. Em meses em que a lâmina precipitada sobre o reservatório tem valor próximo ao da lâmina evaporada observada no mesmo período, a variação de volume ocorrida entre o início e o final do mês é decorrente basicamente apenas dos aportes superficiais e subterrâneos e das saídas (perenização, consumo para irrigação e abastecimento, etc.).



**Figura 4.1** – Concepção do modelo de previsão de qualidade de água desenvolvido para açudes de abastecimento do semi-árido.

Uma das decisões a se tomar na etapa de seleção de dados hidrometeorológicos de entrada é a consideração ou não da qualidade da água da chuva. Essa consideração pode ser descartada quando se pretende avaliar reservatórios no semi-árido localizados em regiões de características mais rurais, pela ausência de poluição atmosférica acentuada. Entretanto, em regiões metropolitanas industrializadas e com grande número de veículos automotores, as águas das chuvas carregam materiais poluentes presentes no ar diretamente para os reservatórios e alteram a concentração de algumas variáveis físicas, químicas e biológicas. Nesse caso, a entrada de materiais provenientes da precipitação pluviométrica deve ser incorporada ao modelo. As características dessas águas dependem do seu trajeto atmosférico. As águas de chuva nessas regiões densamente povoadas podem ser consideradas como constituindo uma solução diluída (com teores médios de sais dissolvidos de uns poucos miligramas por litro) e ligeiramente ácida (REBOUÇAS, 2002). Alguns trabalhos mostram que o efeito das chuvas na qualidade das águas lânticas da bacia de drenagem pode se manifestar até três dias posteriores à ocorrência das chuvas (TAVARES *et al.*, 1998), embora diversas variáveis qualitativas dependam do volume precipitado e do tamanho do açude.

Além de dados atuais de qualidade de água, o modelo necessita de séries temporais desses dados para sua calibração e validação. Quanto mais longa for a série temporal, melhor será a calibração do modelo. São eles que fornecem toda a base para a compreensão do comportamento qualitativo do reservatório, e através dessa série podem-se estabelecer relações entre as variações hidrológicas e os efeitos na qualidade da água do reservatório.

#### 4.1.2 – Incorporação dos Dados de Entrada do Modelo

Os impactos antropogênicos e naturais foram representados pela influência da bacia de drenagem, que, assim como os dados de previsão hidrometeorológica, foram classificadas como **Alta**, **Intermediária** ou **Baixa**, apresentando também subdivisões. Para essa etapa, três questionamentos básicos devem ser respondidos: 1 – qual a metodologia a ser utilizada para essa avaliação; 2 – quais parâmetros considerar; e 3 – como considerar esses parâmetros.

Para a elaboração do modelo proposto, desenvolveu-se uma metodologia simples e acessível para fazer o diagnóstico de estado de conservação atual da bacia. Esse diagnóstico foi concedido através de um índice, denominado Diagnóstico de Atividades e Proteção (DAP), que varia de 1 a 10, sendo 10 o valor que indica o estado de melhor preservação da bacia. Em suma, quanto maior for esse índice, menor serão os efeitos negativos na qualidade da água do açude

decorrentes das vazões de entrada e maior será o efeito diluidor das águas aportadas no reservatório. O índice DAP considera o estado da mata nativa presente na bacia de drenagem e as atividades ali exercidas. O Quadro 4.1 apresenta os valores sugeridos para o índice DAP que são obtidos através da classificação do estado da bacia. As faixas de porcentagem de mata nativa e de áreas remanescentes com atividades na bacia podem ser alteradas de acordo com a experiência do modelador, buscando valores mais adequados para a bacia em estudo, visto que os valores abaixo foram adaptados para a região do Alto Paraíba. Pode-se, inclusive, incorporar os efeitos de outras atividades realizadas na bacia e utilizar outros valores para o índice DAP.

**Quadro 4.1** – Sugestão de valores para o índice de Diagnóstico de Atividades e Proteção (DAP) para a situação atual da bacia de drenagem.

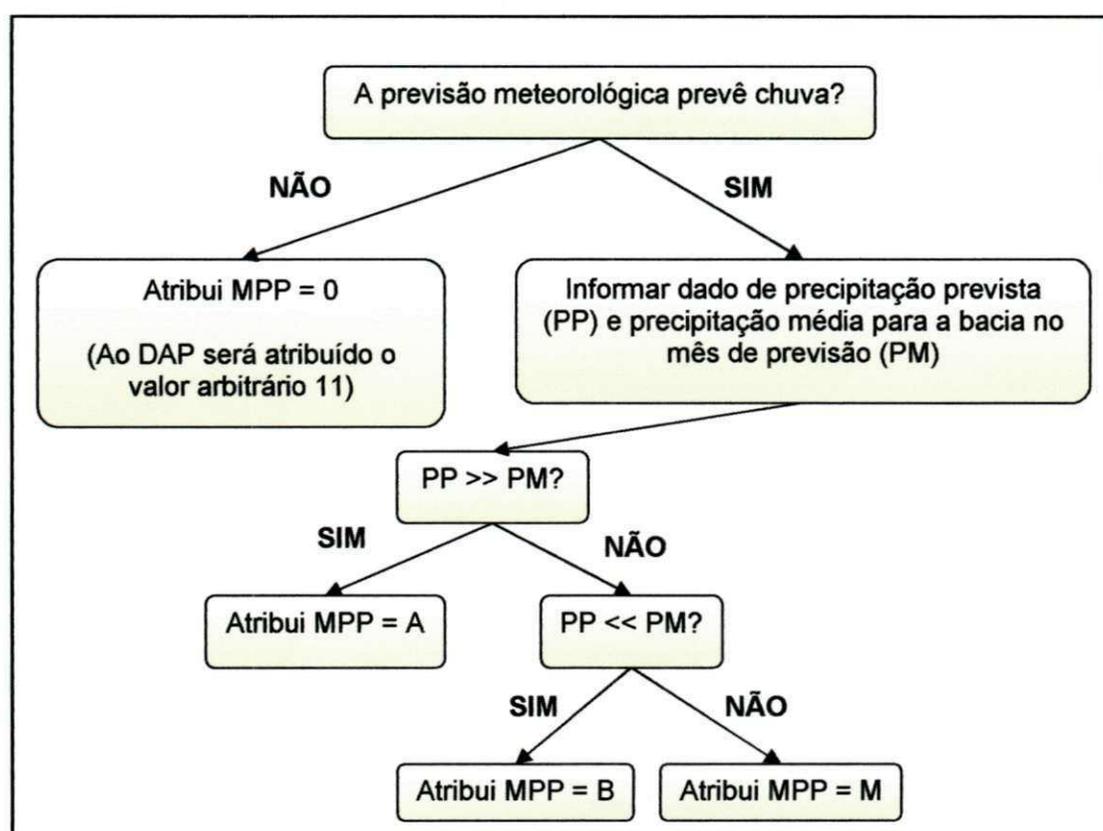
RELAÇÃO ENTRE A ÁREA DE FLORESTA NATIVA RESTANTE E A ÁREA DA BACIA	PORCENTAGEM DA ÁREA RESTANTE DA BACIA UTILIZADA PARA PECUÁRIA E IRRIGAÇÃO	DIAGNÓSTICO DE ATIVIDADES E PROTEÇÃO (DAP)
> 60%	Nenhuma	10
	< 50%	6
	> 50%	4
> 40% e < 60%	Nenhuma	8
	< 50%	4
	> 50%	2
< 40%	Nenhuma	6
	< 50%	2
	> 50%	1

Considerando os valores sugeridos acima, percebe-se que a melhor condição seria observada quando não há atividades sendo desenvolvidas na bacia que possam degradar a qualidade da água armazenada e quando a bacia possui mais de 60% de sua área coberta com floresta nativa (DAP = 10). A pior condição ocorreria quando mais de 50% da área da bacia fosse utilizada para alguma atividade como irrigação ou pecuária e menos de 40% da área restante fosse coberta com floresta nativa (DAP = 1).

Para a aplicação do modelo, deve-se, portanto, verificar qual é o valor do índice DAP apropriado para a bacia e, em seguida, verificar qual a precipitação média histórica na bacia no(s) mês(es) corresponde(s) ao(s) de previsão. Outro valor de comparação para a previsão meteorológica pode ser utilizado ao invés da precipitação média de séries históricas, contanto que sirva de referência para classificação de períodos secos, normais e chuvosos. Inclusive, pode-se fazer essa comparação através da vazão afluente média caso se disponha desses dados e de um bom modelo chuva-vazão para converter os valores oferecidos pela previsão meteorológica.

Outro dado de entrada para o modelo é a previsão hidrometeorológica. A classificação da precipitação prevista é feita através do índice Montante de Precipitação Prevista (MPP), conforme é mostrado na Figura 4.2. Nela, o primeiro teste lógico refere-se a uma condição fundamental para o desenvolvimento do modelo: a verificação se haverá chuvas no período que se deseja prever a qualidade, de acordo com a previsão meteorológica. Dessa forma, caso se deseje saber a qualidade da água do reservatório ao fim do mês de março, estando atualmente no mês de dezembro, deve-se saber qual o montante de precipitação nos três meses seguintes de acordo com a previsão meteorológica.

Caso, para o período a se prever a qualidade, a meteorologia não preveja chuvas, é verificado o comportamento dos parâmetros qualitativos nesse reservatório que não terá aporte externo, com perdas por evaporação e retiradas para usos consuntivos. Na condição contrária – há previsão de chuvas – se verifica a influência que esses aportes ocasionam na qualidade final das águas do reservatório.



**Figura 4.2** – Determinação da classificação da precipitação prevista através do índice Montante de Precipitação Prevista (MPP).

No caso de a previsão meteorológica prever chuvas, então devem ser informadas a precipitação prevista e a precipitação média histórica para o período. Um novo teste lógico é

realizado para classificar essa precipitação prevista em alta, média ou baixa através da comparação com o valor de precipitação médio fornecido. Com a série histórica de precipitação da bacia (que antes foi dividida em faixas em torno da média) e com o valor da precipitação prevista é possível determinar se o total previsto no período é **Alto**, **Intermediário** ou **Baixo**, correspondendo a valores do índice MPP iguais a A, M e B, respectivamente. Quando a previsão hidrometeorológica prevê estiagem para o período, então é atribuído 0 (zero) ao índice MPP.

No caso de ser atribuído ao MPP o valor nulo ( $MPP=0$ ), é desconsiderado o valor do DAP obtido e é atribuído um valor arbitrário igual a 11. Isso ocorre porque como a meteorologia não está prevendo chuvas para o período, então o índice de Diagnóstico de Atividades e Proteção (DAP) perde seu valor físico visto que não há aportes ao lago. O valor 11 apenas indica ao modelo que a evolução qualitativa daquele reservatório é equivalente ao comportamento apresentado pelo mesmo nos períodos de estiagem.

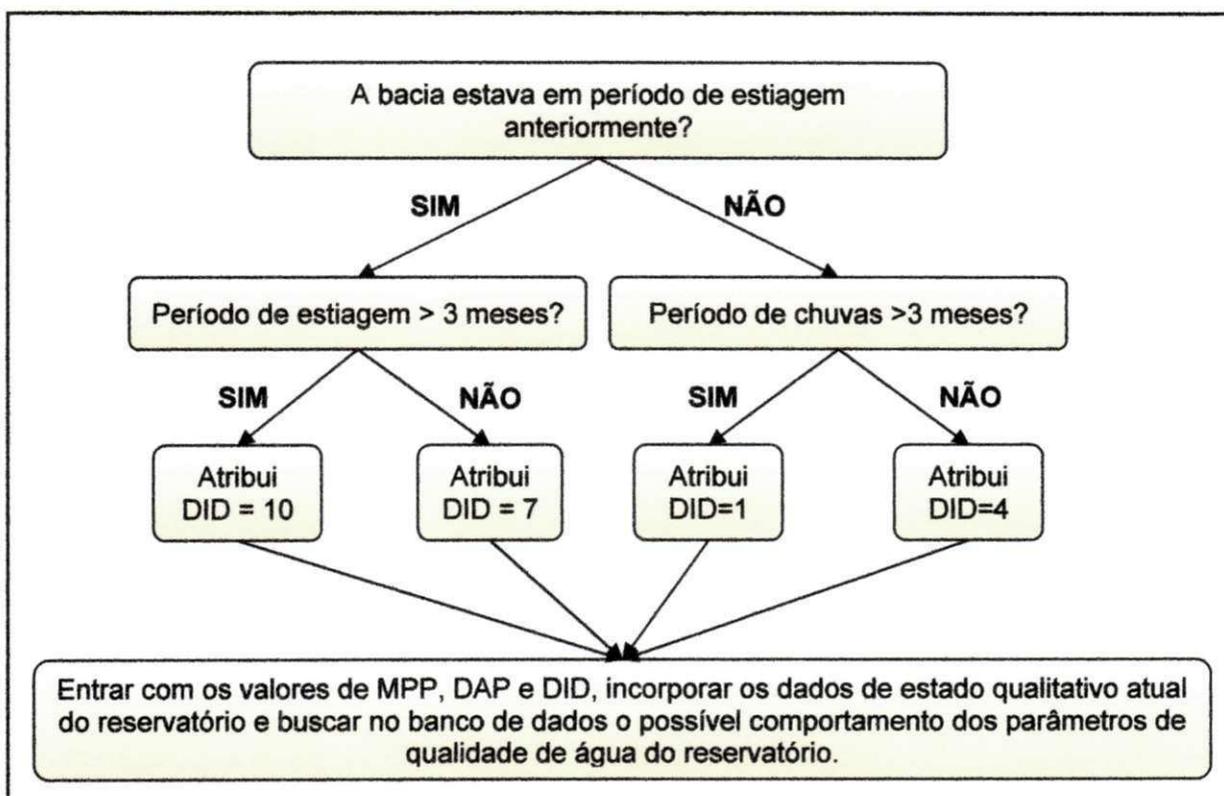
Também se faz necessária a inclusão do tempo em que a bacia ficou sem ser drenada, o que influi diretamente na quantidade de material acumulado que pode ser carregado para dentro do reservatório durante as primeiras chuvas (lavagem da bacia). O índice DAP, portanto, representa a “barreira” que impede essa poluição de chegar ao reservatório. Esse tempo em que a bacia ficou sem receber drenagem foi representado através do índice denominado Diagnóstico de Impacto pela Drenagem (DID). Esse índice, chamado na Figura 4.1 de condição antecedente da bacia, apresenta valores que variam desde 1 a 10. Quanto mais próximo do valor 10, mais material alóctone será carregado para o reservatório durante a drenagem da bacia, sendo, portanto uma condição ruim. O oposto é observado quando esse valor se aproxima de 1, que representa a condição em que as vazões de entrada causarão menor impacto negativo à qualidade da água do reservatório. O índice DID é obtido a partir de testes lógicos conforme mostrados na Figura 4.3.

Esse índice foi avaliado levando-se em consideração se a bacia, no período anterior ao que se pretende modelar, estava em período chuvoso ou de estiagem, e, no primeiro caso (período chuvoso), qual a intensidade da precipitação. Uma maior precipitação, que gere como consequência maiores volumes de escoamento, proporciona uma melhor lavagem da bacia, de modo que para o período previsto esse impacto será minimizado.

O mais correto nessa avaliação seria a inclusão do valor real de vazão de entrada, e não o de precipitação. Entretanto, essa medição é difícil e a implementação e calibração de modelos chuva-vazão podem apresentar algumas dificuldades, requerendo significativa quantidade de dados para calibração, bem como experiência com esses modelos (VALENÇA & VALENÇA, 2005).

A critério do modelador, a avaliação dos impactos antropogênicos e naturais pode ser feita considerando partições da área da bacia e determinando para cada uma dessas sub-áreas o valor precipitado ou drenado, o índice DAP, o índice DID e a influência relativa de cada sub-área na variação das características qualitativas do reservatório. Nesse caso torna-se mais importante ainda que a série histórica de precipitação seja longa e os postos pluviométricos bem distribuídos na área da bacia e no entorno do reservatório.

A seqüência descrita a seguir, para determinação do índice DID, pode ser modificada e/ou adaptada para as diversas condições locais do reservatório o qual se pretende prever a qualidade. O tempo de referência de 3 meses utilizado nos testes lógicos para verificação de período antecedente de estiagem e de chuvas foi adotado, neste trabalho, apenas porque nessas regiões as estações secas e chuvosas duram cerca de seis meses cada uma, e considerou-se que períodos acima de três meses são suficientes para acúmulo de poluição (na estação seca) e lavagem da bacia (na estação chuvosa). Esse tempo de referência também pode ser modificado e pode-se testar a influência que os diferentes tempos considerados terão na resposta do modelo.



**Figura 4.3** – Determinação do índice Diagnóstico de Impacto de Drenagem (DID).

Uma alternativa que também pode ser utilizada para medir o impacto da poluição acumulada na bacia de drenagem, aportada através das vazões de entrada, é o uso do balanço de

massa do reservatório. Esse balanço pode ser feito após a reconstituição do balanço hídrico do reservatório, de onde se determinam as vazões de entrada. Sabendo-se a concentração de determinado parâmetro ao início e ao fim de cada mês, é possível determinar (utilizando os volumes de entrada e saída do reservatório) qual foi a carga desse parâmetro aportada através do escoamento superficial. Dessa forma, essa carga de entrada representa o estado atual de conservação da bacia e a condição antecedente de drenagem (poluição acumulada). Quanto maior essa carga de entrada, pior a conservação da bacia e maior o tempo em que essa bacia ficou sem drenagem, acumulando detritos. Através do balanço de massa também é possível verificar o acúmulo de materiais no reservatório e a carga que sai juntamente com as retiradas de água para irrigação e abastecimento.

O modelo necessita, também como dado de entrada, dos valores de concentração atual dos parâmetros de qualidade de água escolhidos para modelagem. Esse conjunto de valores representa a condição atual qualitativa do reservatório, e é partindo-se dessas concentrações que o modelo fará as projeções futuras da concentração desses parâmetros.

Outros dados utilizados na modelagem, chamados na Figura 4.1 de condição antecedente do reservatório, representa a série histórica disponível de dados de qualidade de água. Com essa série será possível analisar comportamentos peculiares para o reservatório e os efeitos na qualidade da água causados por alterações hidrometeorológicas. Se algum índice de qualidade de água for utilizado como dado qualitativo atual da bacia, deve-se também calcular esse mesmo índice para toda a série. A escolha de apenas um grupo de parâmetros brutos de qualidade de água também é possível para utilização como dado de entrada. O bom conhecimento desses parâmetros é fundamental para que o resultado previsto seja compatível com as condições reais do reservatório. Dessa forma, é importante que o modelador conheça o reservatório de interesse da previsão ou que conte com o auxílio de especialistas para a interpretação desses dados.

A última etapa do processo de modelagem é reunir todos esses dados de entradas (índices MPP, DAP e DID, e dados sobre o estado qualitativo atual do reservatório e série histórica de dados de qualidade), e buscar num banco de dados qual é o comportamento qualitativo esperado para o reservatório. Uma maneira de se obter esse banco de dados é através de entrevistas com especialistas que conheçam bem o reservatório em questão ou que conheçam o comportamento geral de açudes no semi-árido destinados ao abastecimento. No item seguinte são apresentados os resultados obtidos através de entrevistas desse tipo, realizadas com o propósito de montar um banco de dados com informações que auxiliassem a compreensão do comportamento desses reservatórios de abastecimento, em função das experiências desses especialistas.

## 4.2 - Resultado das Entrevistas com os Especialistas

As entrevistas realizadas com 10 especialistas em qualidade de água em reservatórios do semi-árido destinados a abastecimento humano forneceram informações importantes para a compreensão do comportamento desses reservatórios nessa região e da variação de concentração de alguns parâmetros de qualidade frente às diversas situações climáticas. No Quadro 4.2 está apresentado o comportamento esperado para diversos parâmetros de qualidade de água nos reservatórios do semi-árido sob diversas condições climáticas, obtido através da aplicação do questionário e das entrevistas com os especialistas. Ao lado de cada comportamento encontra-se o número de especialistas que forneceram a mesma informação sobre aquele parâmetro (frequência de respostas).

É importante ressaltar que para alguns parâmetros num mesmo cenário climático houve divergência entre opiniões: enquanto uns especialistas consideravam como resultado a concentração daquele parâmetro, outros consideravam a sua diluição. Isso foi observado, por exemplo, com os resultados de comportamento sugeridos para os nutrientes quando relacionado aos efeitos das primeiras chuvas, ressaltando a variedade e a imprevisibilidade de alguns sistemas.

Todos os entrevistados ressaltaram o efeito concentrador que um período de estiagem normal ou extremo tem sobre alguns parâmetros de qualidade, e que as primeiras chuvas, ao contrário de diluir esses elementos, os concentram devido ao processo de lavagem da bacia. Só após essas primeiras chuvas é que o reservatório apresenta uma melhora na qualidade de água armazenada. No Quadro 4.2, que resume alguns dos pontos observados durante as entrevistas, pode-se verificar esses efeitos esperados.

Comportamento bastante semelhante ao apresentado acima foi verificado por Barbosa (2002) em seu estudo sobre a dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos no açude Taperoá II (07°11'44"S e 07°13'44"S, 36°52'03"W e 36°50'09"W) no trópico semi-árido do estado da Paraíba. Através dos resultados de sua pesquisa, foi possível para o autor classificar o estado trófico do açude em cada período climático observado nos meses de estudo. Esse comportamento do açude Taperoá II está apresentado na Figura 4.4.

Foi possível observar que o açude Taperoá II passou por uma época de seca extrema (setembro de 1998 a janeiro de 1999) e que a chuva ocorrida em seguida (março de 1999), embora tenha trazido para o reservatório bastante sedimento, melhorou o estado trófico do açude de eutrófico para oligotrófico.

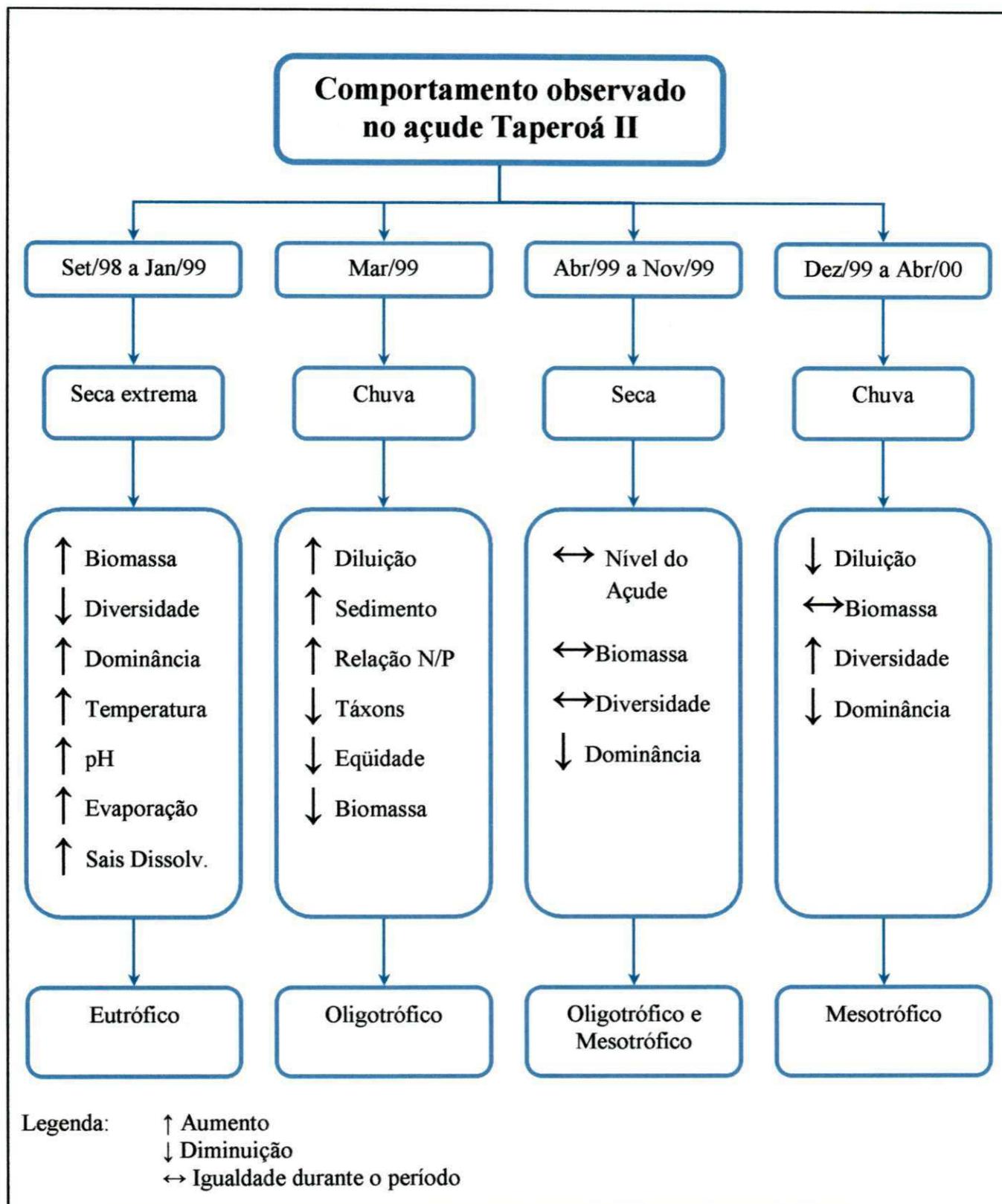
**Quadro 4.2** – Comportamento esperado para diversos parâmetros de qualidade de água nos reservatórios do semi-árido sob diversas condições climáticas, obtido através de entrevistas realizadas com dez (10) especialistas.

(F = frequência de respostas, i.e., número de especialistas que forneceram aquela mesma informação; metais pes. = metais pesados).

ESTIAGEM			CHUVA			PRIMEIRAS CHUVAS		
Parâmetro	Comportamento	F	Parâmetro	Comportamento	F	Parâmetro	Comportamento	F
íons	<b>umenta</b>	2	temperatura	<b>diminui</b>	1	CF	<b>umenta</b>	3
CE	<b>umenta</b>	5	DBO	<b>diminui</b>	1	ST	<b>umenta</b>	2
algas	<b>umenta</b>	4	íons	<b>diminui</b>	2	turbidez	<b>umenta</b>	4
alcalinidade	<b>umenta</b>	3	CE	<b>diminui</b>	3	nutrientes	<b>umenta</b>	3
dureza	<b>umenta</b>	3	turbidez	<b>umenta</b>	4	nutrientes	<b>diminui</b>	2
pH	<b>umenta</b>	1	nutrientes	<b>umenta início</b>	1	DBO	<b>umenta</b>	1
OD	<b>diminui</b>	1	nutrientes	<b>diminui depois</b>	3	algas	<b>diminui</b>	3
CF	<b>umenta</b>	2	algas	<b>diminui</b>	2	CE	<b>diminui</b>	2
nutrientes	<b>umenta</b>	1	CF	<b>umenta</b>	1	íons	<b>umenta</b>	1
ST	<b>umenta</b>	1	metais pes.	<b>umenta</b>	1	metais pes.	<b>umenta</b>	1
DBO	<b>umenta</b>	1	alcalinidade	<b>umenta</b>	1	cor	<b>umenta</b>	1
DQO	<b>umenta</b>	1	dureza	<b>umenta</b>	1			
			ST	<b>umenta</b>	1			
			cor	<b>umenta</b>	1			

ESTIAGEM EXTREMA			CHUVA EXTREMA		
Parâmetro	Comportamento	F	Parâmetro	Comportamento	F
temperatura	<b>umenta</b>	1	ST	<b>umenta</b>	2
DBO	<b>umenta</b>	1	turbidez	<b>umenta</b>	3
DQO	<b>umenta</b>	1	CF	<b>umenta</b>	2
algas	<b>umenta</b>	5	nutrientes	<b>umenta</b>	3
ST	<b>umenta</b>	3	nutrientes	<b>diminui</b>	1
nutrientes	<b>umenta</b>	3	algas	<b>umenta</b>	1
turbidez	<b>umenta</b>	1	algas	<b>diminui</b>	1
CE	<b>umenta</b>	3	CE	<b>umenta</b>	1
pH	<b>umenta</b>	1	CE	<b>diminui</b>	2
íons	<b>umenta</b>	1	alcalinidade	<b>diminui</b>	2
			dureza	<b>diminui</b>	2
			pH	<b>diminui</b>	1



**Figura 4.4** – Comportamento observado no açude Taperoá II (PB) nas diferentes condições climáticas e classificação do seu estado trófico (BARBOSA, 2002).

Os comportamentos descritos pelos especialistas também foram observados no açude Epitácio Pessoa, como visto na Figura 4.5 e 4.6 e na discussão presente no Item 4.3.

Durante as entrevistas, os especialistas tiveram liberdade de discorrer sobre o parâmetro que mais lhes era familiar. Desse modo, alguns parâmetros foram mais citados que outros (Quadro 4.2). Além disso, surgiram umas poucas discordâncias em relação ao comportamento esperado de alguns parâmetros sob determinadas condições climáticas (principalmente em chuva extrema). Essas discordâncias podem ser compreendidas levando-se em consideração que o grupo entrevistado era interdisciplinar e com experiência em diversos reservatórios do semi-árido, e algumas peculiaridades do reservatório podem causar efeitos na qualidade da água diferentes dos usualmente esperados.

Baseado nas respostas oferecidas pelos especialistas desenvolveu-se o Quadro 4.3. Nela está apresentado o comportamento esperado para diversos parâmetros de qualidade de água de reservatórios de abastecimento humano do semi-árido nas estações seca e chuvosa, servindo como guia para a compreensão desses sistemas aquáticos.

A partir desse banco de dados, e com os dados de entrada relativos à bacia e ao reservatório, o modelo vai gerar os resultados sobre a previsão da qualidade da água. Quanto mais completos e confiáveis forem os dados de entrada, maior é a confiabilidade do resultado apresentado. Esse mesmo resultado pode servir como dado de entrada para o modelo, constantemente alimentando seu banco de dados. Além disso, diversos cenários podem ser criados para simular situações diversas e os resultados, depois de analisados e validados pelos especialistas, podem servir de arcabouço para estudos do comportamento dos parâmetros de qualidade do reservatório frente às diversas condições impostas na simulação.

Foram avaliados o comportamento do açude Epitácio Pessoa e a resposta fornecida pelo modelo para os cenários propostos. A seqüência de aplicação do modelo foi a descrita anteriormente, não fazendo nenhum ajuste para adaptação ao açude Epitácio Pessoa. Com isso foi possível observar a validade do modelo para reservatórios do semi-árido de modo geral.

**Quadro 4.3** – Comportamento esperado para diversos parâmetros de qualidade de água frente a alguns cenários climáticos em reservatórios do semi-árido.

	Efeito esperado na Estação Seca		Efeito esperado na Estação Chuvosa	
	Efeito dos primeiros meses (1º ao 3º aproximadamente)	Efeito esperado nos meses subseqüentes	Efeito das primeiras chuvas	Efeito das chuvas subseqüentes
temperatura	Completa homogeneização na coluna d'água/ águas mais quentes que no período antecedente acompanhando as variações da temperatura do ar (cerca de 1°C mais fria que a temp. do ar)		Micro estratificações diárias/ águas mais frias que no período antecedente acompanhando as variações da temperatura do ar (cerca de 1°C mais fria que a temp. do ar)	
pH	Leve aumento dos valores devido à alta taxa fotossintética (geralmente com valores levemente básicos)		Decaimento dos valores, ficando próximos à neutralidade	
turbidez	Redução acentuada dos valores de turbidez ficando abaixo dos valores verificados no período de chuvas		Aumento elevado dos valores de turbidez (lavagem da bacia)	Leve aumento nos valores
CE	Aumento gradual dos valores através da concentração de sais e liberação de íons nas atividades metabólicas de microrganismos		Aumento elevado devido ao aporte de material alóctone	Redução gradual
íons	Semelhante a CE		Semelhante a CE	Semelhante a CE
nutrientes	Forte concentração dos valores de ortofosfato solúvel, fósforo total, nitrato e amônia		Aumento dos valores de nutrientes através do aporte de matéria orgânica	
OD	Aumento acelerado da concentração com a superfície pouco mais oxigenada que o fundo	Leve aumento da concentração/ surgimento de micro-estratificações diárias	Decaimento dos valores/ estratificação vertical dos valores com superfície bem mais oxigenada que o fundo	Leve aumento dos valores com estratificações verticais bem acentuadas (valores da superfície superiores aos do fundo)
DBO	Decaimento dos valores de DBO devido a alta taxa metabólica de decomposição	Concentração de DBO praticamente constante	Aumento elevado dos valores de DBO	Leve aumento nos valores de DBO
sólidos	Aumento baixo (uma parte sedimenta por não haver revolvimento intenso na coluna d'água e uma outra parte sai do reservatório junto com as águas retiradas para consumo)		Aumento drástico da concentração na superfície com homogeneização ao longo da coluna d'água	Decaimento do valor na superfície (sedimentação)/ ao final da estação os valores ao longo da coluna são levemente superiores aos apresentados no período antecedente
dureza e alcalinidade	Aumento da concentração de carbonatos e bicarbonatos, aumentando, assim, a concentração de dureza e alcalinidade		Redução dos valores	
algas	Surgimento de várias espécies/ alta produtividade/ aumento dos valores de clorofila a	Alta produtividade/ maior número de espécies com nº de indivíduos equilibrados/ aumento dos valores de clorofila a	Redução drástica da diversidade e da concentração de espécies com queda na produção primária/ drástica redução dos valores de clorofila a	Aumento da biodiversidade e da produtividade primária/ leve aumento de clorofila a (sempre abaixo dos valores no período antecedente)
contaminação fecal	Redução da concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal	Valores praticamente estáveis da concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal	Aumento elevado da concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal	

### 4.3 - Estudo de Caso: Açude Epitácio Pessoa (PB)

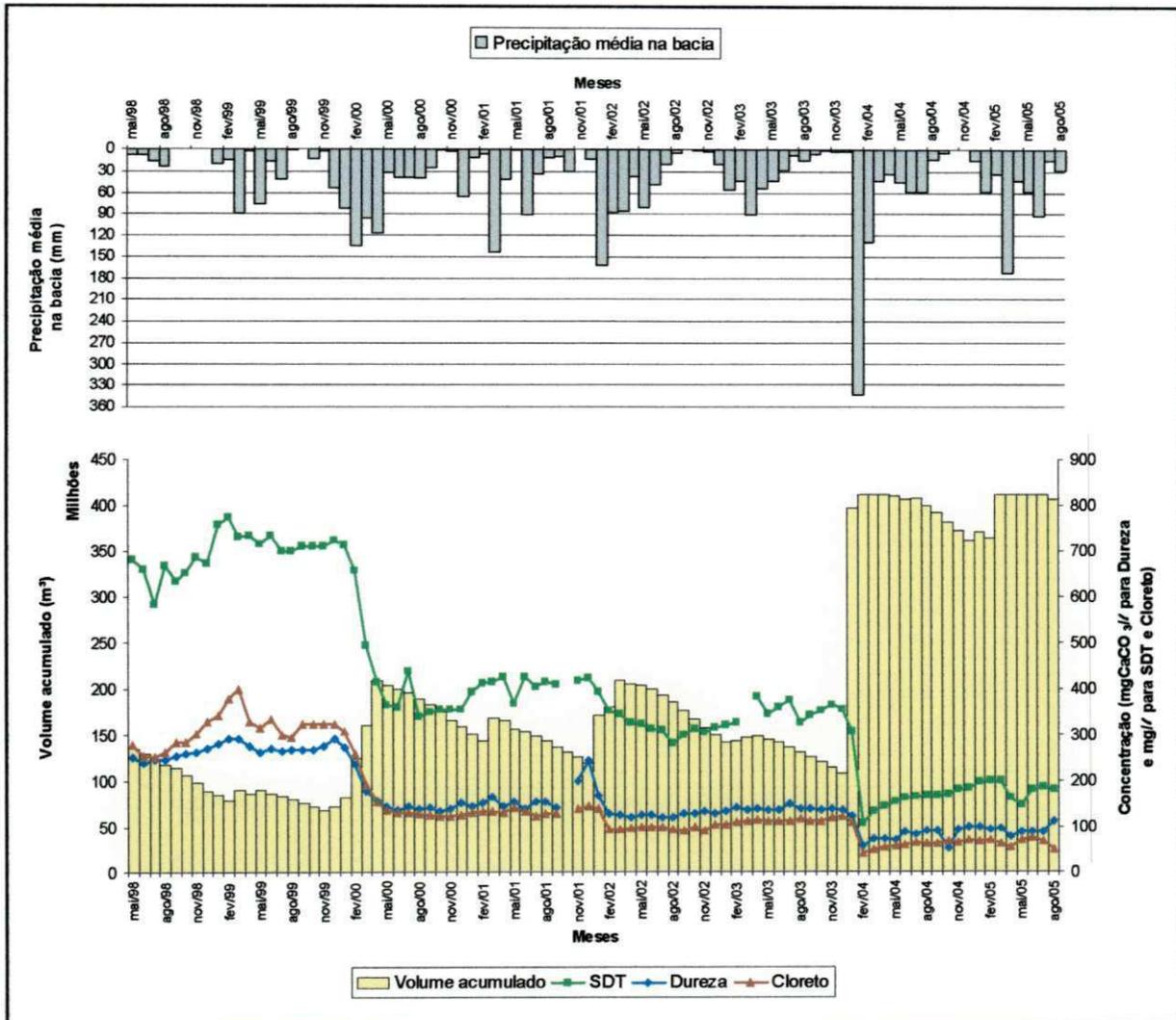
Uma das principais dificuldades para a modelagem da qualidade de água no açude Epitácio Pessoa foi a ausência de uma série longa, confiável e contínua de dados qualitativos. Enquanto que o LMRS fez o monitoramento diário do volume acumulado no reservatório e da precipitação na bacia, os dados de qualidade fornecidos pela CAGEPA apresentavam, em sua maioria, apenas um dado mensal para cada parâmetro. Dessa forma, algumas vezes, numa data que ocorreu uma entrada no reservatório, não houve dados de qualidade da água, impossibilitando uma associação confiável.

Melo (2005), ao estudar a possibilidade de elaboração de um modelo de operação para esse reservatório, não conseguiu calibrar um modelo de qualidade de água para representar o seu comportamento em relação aos sólidos dissolvidos totais por ser a série de dados bastante curta, impossibilitando a simulação de cenários. Mesmo assim, foi possível para a autora desenvolver um modelo de operação quali-quantitativo para auxílio na gestão do reservatório.

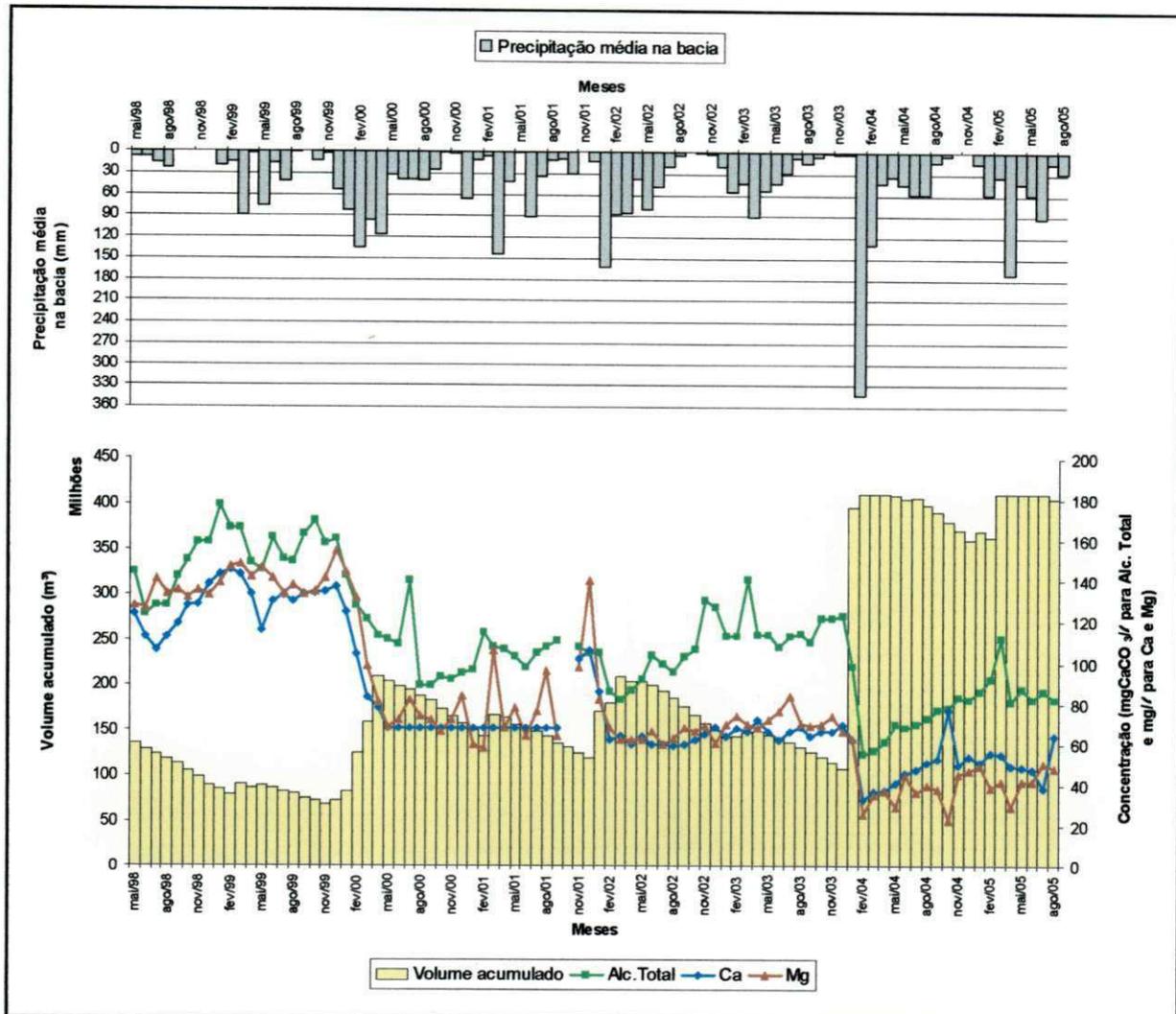
Mesmo com a dificuldade para fazer uma modelagem mais consistente, neste trabalho, ao se observar o conjunto dos dados disponíveis, pôde-se perceber alguns comportamentos peculiares desse reservatório. Alguns desses comportamentos foram perceptíveis apenas inter-anualmente, demonstrando que o reservatório apresentou uma resposta aos estímulos externos numa escala superior à sazonal, típica de reservatórios de clima tropical. Embora a baixa quantidade de dados disponíveis não tenha possibilitado uma análise intra-anual mais apurada, foi possível aplicar o modelo para esse reservatório e obter resultados satisfatórios.

Do conjunto de dados de qualidade de água disponível, foram selecionados os correspondentes ao período de maio de 1998 a agosto de 2005 por apresentarem melhor consistência e melhor distribuição espacial de amostragem. Além disso, foi apenas a partir de 1998 que os dados fornecidos pela CAGEPA indicavam o mesmo ponto de coleta. O período de amostragem mais frequente foi o mensal, e nos meses em que a amostragem foi realizada quinzenalmente ou semanalmente foi utilizada a média dos valores das amostragens como valor representativo do mês, visto que o modelo desenvolvido aceita apenas um dado de entrada mensal para cada parâmetro. A série de dados selecionada corresponde aos parâmetros sólidos dissolvidos totais, alcalinidade total, cálcio, magnésio, dureza e cloreto. Os parâmetros foram escolhidos de acordo com a consistência da série.

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam a variação temporal dos parâmetros de qualidade de água utilizados, o volume acumulado no reservatório e a precipitação média na bacia.



**Figura 4.5** - Variação temporal da precipitação média na bacia de drenagem (região do Alto Paraíba – PB), do volume acumulado no açude Epitácio Pessoa (PB) e da concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT), dureza e cloreto no ponto de captação de água para tratamento, no período de maio de 1998 a agosto de 2005.



**Figura 4.6** - Variação temporal da precipitação média na bacia de drenagem (região do Alto Paraíba – PB), do volume acumulado no açude Epitácio Pessoa (PB) e da concentração de alcalinidade total (Alc. Total), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no ponto de captação de água para tratamento, no período de maio de 1998 a agosto de 2005.

Para todas as séries de dados de qualidade de água utilizadas, exceto para cloreto, verificou-se que as águas do açude Epitácio Pessoa mantiveram-se dentro dos padrões de potabilidade estipulados pela Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde. O valor máximo permitido para cloreto é de 250 mg/l e o reservatório apresentou concentrações superiores a esse valor durante o período de maio de 1998 a março de 2000, atingindo um valor máximo de 410 mg/l em fevereiro de 1999.

Para esse reservatório, foi adotado como estação chuvosa do ano o período que começa em janeiro e termina em junho, e como estação seca do ano o período de julho a dezembro. Essa classificação seguiu critérios semelhantes aos utilizados por Sansigolo (1989) e Ceballos (1995).

Houve apenas uma coleta de água para análise de qualidade no ano de 1994, ocorrida em novembro (época de estiagem). Em 1995 ocorreram três coletas: duas na estação chuvosa (em fevereiro e em junho) e uma na estação seca (em agosto). De acordo com esses dados, as concentrações de cloreto no reservatório durante o período de estiagem de 1994 até o início da estação chuvosa de 1995 (330 mg/l em nov/94 e 344 mg/l em fev/95), em conjunto com as observadas na estação chuvosa de 1999, foram as mais elevadas em toda a série de dados.

O valor de sólidos dissolvidos totais (SDT) em fevereiro de 1995 foi 830 mg/l, o maior valor de toda a série, entretanto na coleta seguinte realizada em junho daquele ano, o valor observado foi de 640 mg/l. Uma redução dessa magnitude talvez tenha ocorrido por causa do aumento de volume acumulado no reservatório, que passou de 53,1% para 91,6% da sua capacidade de armazenamento total, respectivamente. Essa alta redução foi também observada nos demais parâmetros: alcalinidade total de 140 mgCaCO<sub>3</sub>/l para 122 mgCaCO<sub>3</sub>/l; dureza de 282 mgCaCO<sub>3</sub>/l para 206 mgCaCO<sub>3</sub>/l; e cloreto de 344 mg/l para 235 mg/l.

Em 1996 houve três amostragens: duas na estação chuvosa (janeiro e fevereiro) e uma na estação seca (julho). Nesse ano, iniciaram-se as análises de cálcio e magnésio e os valores apresentaram alta redução entre janeiro e fevereiro: magnésio variou de 132 mg/l para 48 mg/l e cálcio de 79 mg/l para 35 mg/l. A concentração de cloreto também reduziu no mesmo período de 225 mg/l para 198 mg/l. Durante todo o ano, o reservatório manteve-se com uma boa quantidade de água acumulada, com cerca de 75,0% de sua capacidade máxima.

Não há registros de coleta de água no ano de 1997, e em 1998 a amostragem inicial foi em maio, ocorrendo regularmente a partir daquele mês. Os comportamentos qualitativos observados nos períodos de estiagem e chuva nos anos de 1998 a 2005 estão abordados de forma sintética nos próximos itens.

### 4.3.1 – Os Anos de 1998 e 1999

Em 1998, o reservatório esteve com baixo volume armazenado. No início do ano, o volume acumulado correspondia a 39,8% da capacidade total e uma redução contínua foi observada ao longo do ano, o que levou o sistema de abastecimento à iminência de colapso, com o reservatório apresentando apenas 20% de sua capacidade total de armazenamento ao final de dezembro daquele ano. Desde 1997 o reservatório passava por uma crise quantitativa (Figura 4.4) e essa crise só foi atenuada através dos aportes ocorridos no ano 2000.

Durante o ano de 1999 o volume total armazenado foi ainda menor. Em nenhum mês o reservatório apresentou volume acumulado maior que 21,0% da capacidade máxima, atingindo, ao final do mês de novembro desse ano, o menor acúmulo observado de toda a série disponível (15,1% da capacidade total).

Com a crise iniciada em 1997, as autoridades responsáveis pela gerência do reservatório, iniciaram processos de gestão para minimizar os impactos que estavam ocorrendo no abastecimento. A primeira dessas ações foi a suspensão do volume de perenização do rio Paraíba, a jusante da barragem do reservatório, através do fechamento das comportas da barragem em agosto de 1998. O racionamento de água foi iniciado em novembro de 1998, com suspensão do fornecimento contínuo de água para abastecimento, o qual ficou ocorrendo dois dias por semana, em dias alternados para as diversas localidades servidas.

Em março de 1999 foi suspensa, através de decisão judicial, a irrigação no entorno do reservatório. Essa atividade consumia aproximadamente o mesmo montante que era destinado para abastecimento (cerca de 1,0 m<sup>3</sup>/s). Com a contínua redução de volume acumulado no reservatório e com a baixa precipitação ocorrida na bacia (bastante inferior à climatologia do período), o racionamento foi intensificado, passando a ocorrer a suspensão de fornecimento de água em quatro dias da semana a partir de setembro de 1999. Esse momento foi considerado o mais crítico da crise de abastecimento e a iminência de colapso do sistema.

A coleta de amostras para análise da qualidade da água passou a ser feita de modo regular pela companhia de abastecimento a partir de maio de 1998, não havendo registros da qualidade nos meses iniciais de 1998.

Os sólidos dissolvidos totais apresentaram uma leve redução de concentração ao final da estação chuvosa de 1998 e posteriormente ocorreu uma concentração durante a estação seca. Em maio de 1998 a concentração de SDT foi de 681 mg/ℓ reduzindo para 585 mg/ℓ em julho de 1998, a partir de então sua concentração foi aumentando e atingiu um valor máximo de 774 mg/ℓ

em fevereiro de 1999. Ao longo de 1999 a concentração de SDT foi reduzindo levemente, mas nunca inferior a 700 mg/ℓ, chegando ao final do ano com uma concentração de 723 mg/ℓ.

Comportamento bastante semelhante foi observado nos valores de dureza e cloreto. Em maio de 1998 a concentração de dureza foi 252 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ, ao final do ano estava em 272 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ e esse valor aumentou ao longo de 1999 chegando a 292 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ em dezembro. As flutuações ocorridas ao longo de 1999 não foram significativas, mesmo com o valor mínimo naquele ano ocorrendo em maio (263 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ), sendo esse superior à maioria dos valores observados em 1998. Nesses dois anos as águas do açude Epitácio Pessoa foram classificadas como duras por estarem na faixa entre 150 e 300 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994). A concentração de cloreto atingiu um valor mínimo em julho de 1998 (252 mg/ℓ), e a partir de então foi ocorrendo uma concentração desse parâmetro, atingindo um máximo em março de 1999 (400 mg/ℓ) e posteriormente sofrendo uma leve redução até atingir 325 mg/ℓ ao final de 1999.

A concentração de alcalinidade total e a de cálcio também apresentaram o maior valor na estação seca de 1999 (177 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ em janeiro e 146 mg/ℓ em fevereiro, respectivamente). O máximo valor observado para magnésio ocorreu em dezembro de 1999 (155 mg/ℓ).

Para todos os parâmetros, inclusive para magnésio, esperava-se encontrar valores de concentrações bem maiores ao apresentado na estação seca do ano de 1999, pois nesse ano o reservatório apresentou o menor volume acumulado de toda a série histórica de dados de volume do reservatório. Embora tenha se observado a redução gradual do volume do reservatório nessa estação, os parâmetros de qualidade apresentaram uma leve redução na concentração, o que sugere que o reservatório consegue manter sua qualidade numa faixa estável de valores mesmo em períodos de baixo armazenamento, não havendo considerável concentração das variáveis de qualidade. Essa relação, observada entre volume acumulado em períodos de crise quantitativa e a não excessiva concentração dos parâmetros de qualidade, é bastante importante e servirá para verificar se o modelo se adapta bem às peculiaridades desses corpos aquáticos.

#### **4.3.2 – Os Anos de 2000 e 2001**

O reservatório estava com 17,5% da sua capacidade máxima em janeiro de 2000 e terminou a estação chuvosa daquele ano com 44,3%. Esse grande aumento do volume fez com que o sistema de abastecimento saísse da condição de colapso iminente. Em abril de 2002 foi

suspensão o regime de racionamento, embora até o presente momento a irrigação ainda não seja permitida e não seja feita mais a descarga de perenização do rio, à jusante.

No ano de 2000 se observou uma situação bastante peculiar nesse reservatório: no período em que houve grande aporte em relação ao volume armazenado, o sistema rapidamente recuperou sua qualidade, ocorrendo reduções de até 50% na concentração dos parâmetros de qualidade selecionados logo nos primeiros meses (Figuras 4.5 e 4.6). Isso foi observado para todos os parâmetros escolhidos para estudo.

Os sólidos dissolvidos totais reduziram de concentração de 713 mg/l em janeiro de 2000 para 416 mg/l em abril do mesmo ano. Esse valor reduziu um pouco mais, atingindo 355 mg/l ao final do ano. Em 2001 o reservatório manteve o mesmo patamar de sólidos dissolvidos totais com valores variando entre 396 e 427 mg/l.

As reduções de concentração observadas para cálcio, magnésio, dureza e cloreto, ocorridas entre janeiro e abril de 2000 foram, respectivamente, de 125 para 78 mg/l, de 144 para 81 mg/l, de 274 para 159 mgCaCO<sub>3</sub>/l e de 308 para 156 mg/l. Os valores após redução na concentração mantiveram-se com pouca variação durante a estação seca de 2000 e durante o ano de 2001 até setembro. Ao fim de 2001, esses parâmetros apresentaram um leve aumento. Em dezembro de 2001 as concentrações observadas foram de 106 mg/l, 140 mg/l, 246 mgCaCO<sub>3</sub>/l e 145 mg/l para cálcio, magnésio, dureza e cloreto, respectivamente.

A alcalinidade total também apresentou uma redução de concentração ao longo do ano de 2000, entretanto essa redução foi mais lenta que a observada nos demais parâmetros. Em janeiro de 2000 a concentração de alcalinidade total foi de 143 mgCaCO<sub>3</sub>/l, reduzindo para 89 mgCaCO<sub>3</sub>/l em agosto daquele ano. Esse valor foi gradualmente aumentando ao longo dos meses finais de 2000 e ao longo do ano de 2001, atingindo um máximo de 115 mgCaCO<sub>3</sub>/l em fevereiro de 2001. Em dezembro de 2001 o valor observado para alcalinidade total foi de 105 mgCaCO<sub>3</sub>/l.

O reservatório em janeiro de 2001 estava com 35,2% de sua capacidade máxima de armazenamento, e ao final do ano estava com 26,6%. Esse baixo volume acumulado mais uma vez preocupou a população e as autoridades que temiam um novo colapso no sistema de abastecimento, como ocorrido entre os anos de 1997 a 1999. Embora a qualidade da água ainda estivesse de acordo com a legislação vigente no momento para águas destinadas para tratamento para abastecimento (Resolução CONAMA n° 20/86), o volume armazenado era baixo e essa condição perdurou até fins do ano de 2003.

### 4.3.3 – Os Anos de 2002 e 2003

Em janeiro de 2002, início da estação chuvosa, o reservatório estava com 26,6% de sua capacidade de armazenamento total, passando por 46,5% em meados da estação e terminando o período chuvoso (jun/2002) com 44% de sua capacidade total. Na estação seca seguinte (jul-dez/2002) o volume foi decaindo até atingir um mínimo de 33% ao final de dezembro desse ano.

Durante esse ano, todos os parâmetros de qualidade selecionados diminuíram suas concentrações, exceto alcalinidade total, que apresentou redução ao longo da estação chuvosa e posterior concentração ao longo do período seco, com qualidade semelhante ao início do ano (105 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ em jan/2002 e 127 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ em dez/2002).

Em 2003, o reservatório sofreu uma redução gradual de volume, apenas com poucos aumentos nos meses de março a maio. No início do ano o reservatório apresentava 33,2% da sua capacidade de armazenamento total aumentando para 35,6% nos meses acima mencionados e decaindo, ao longo do ano, até atingir 25% de sua capacidade ao final de dezembro, representando outro estado crítico de armazenamento do reservatório.

Os parâmetros de qualidade, em relação ao ocorrido com o ano de 2002, apresentaram comportamento mais irregular no período de estiagem. A tendência de concentração desses parâmetros não é claramente observada, mesmo na época em que o reservatório estava com baixo volume armazenado. Alguns parâmetros como cálcio e magnésio não sofreram alteração significativa ao longo do ano, praticamente apresentando a mesma concentração no início e no final do ano.

O ano de 2002 teve comportamento climático próximo ao normal, com o período chuvoso correspondendo a 89% da climatologia (janeiro a junho) e o período de seca correspondendo a 61% da climatologia (julho a dezembro). Os volumes aportados nesse ano reduziram bastante a concentração dos parâmetros de qualidade. Os valores decaíram quase 50% o que apresentou um indício de que em períodos com maior abundância de entrada a redução é bastante intensificada, ou que, se no início do ano a concentração for elevada, ao término desse será bem inferior. A maior redução ocorreu exatamente no período chuvoso, e mesmo na estação seca perceberam-se variações nas concentrações, mostrando que essas variáveis “realmente” apresentaram um comportamento como resposta a todo um processo que ocorre durante as estações secas e chuvosas. A seguir tem-se um breve comentário do comportamento observado para os parâmetros que foram selecionados.

Os sólidos dissolvidos totais apresentaram uma redução de concentração contínua ao longo do período chuvoso. Ao início e ao término do ano, os valores de concentração observados foram de 395 mg/l e 317 mg/l, respectivamente. No período de seca o parâmetro apresentou um comportamento menos definido que o do período de chuva. Na seca, o parâmetro apresentou ora um aumento, ora um decréscimo em sua concentração. Embora se espere que durante a estiagem os parâmetros conservativos aumentem sua concentração devido à ausência de aportes e à constante evaporação, em períodos mais quentes há um aumento expressivo da retirada de água bruta para tratamento e consumo que causa uma retirada de sais do reservatório.

Em 2003, os sólidos dissolvidos totais apresentaram uma concentração de 322 mg/l ao início do ano, atingindo um máximo de 385 mg/l durante a estação chuvosa e 361 mg/l ao fim dessa. Ao longo da estação seca, esse parâmetro não apresentou um padrão visível de comportamento, com diversas variações ao longo da estação, apresentando ao início uma concentração de 377 mg/l, atingindo um mínimo de 325 mg/l (logo no segundo mês da estação) e terminando o ano com uma concentração de 355 mg/l.

Os valores de alcalinidade total ao início e ao fim da estação chuvosa de 2002 foram idênticos (105 mgCaCO<sub>3</sub>/l em janeiro e 104 mgCaCO<sub>3</sub>/l em junho, com valores cerca de 20% mais baixos ao longo da estação). Esse parâmetro também não apresentou alterações durante a estação chuvosa do ano de 2003 (valores sempre variando de 113 a 114 mgCaCO<sub>3</sub>/l), exceto para um único mês em meados dessa estação, apresentando valor igual a 141 mgCaCO<sub>3</sub>/l, o que corresponde, provavelmente, a um erro de medição. Esses resultados sugerem que os eventos da estação chuvosa não alteram a qualidade com relação à alcalinidade e apenas mantém esse valor, não ocorrendo concentração nessa estação. A estação seca em 2003 não apresentou variabilidade nos valores ao longo dos meses, com uma concentração de 123 mgCaCO<sub>3</sub>/l ao final do ano.

Cálcio e magnésio apresentaram comportamento semelhante nas duas estações de 2002, inclusive com a mesma ordem de grandeza nos valores, com pouca variação entre os meses da estação chuvosa (exceto entre janeiro e fevereiro: cálcio de 86 a 62 mg/l – magnésio 82 a 68 mg/l, respectivamente). Nesse caso, usar somente os valores de início e fim de estação num modelo sazonal, poderia resultar num resultado equivocado pois o modelo representaria essa redução como resultado de toda a estação chuvosa, quando, na verdade, essa redução ocorreu entre os dois primeiros meses e não ao longo de todo o período.

Em 2003, cálcio e magnésio não apresentaram variações como respostas à estação chuvosa. Esse comportamento, semelhantemente ao observado a outros parâmetros nesse mesmo ano, pode indicar que em situações de baixa precipitação (com conseqüente baixo escoamento) e de baixo volume armazenado, a qualidade não apresente melhora perceptível, mas apenas uma estabilidade. O reservatório estava com 33% de sua capacidade máxima ao início do ano e a precipitação ocorrida no período representou apenas 61% da climatologia, fazendo com que ao término da estação chuvosa, o reservatório apresentasse praticamente o mesmo percentual acumulado.

Um outro fator importante observado em 2003 nesses parâmetros foi que a concentração esperada ao término da estação seca também não ocorreu. Com magnésio ocorreu o inverso, embora numa ordem de grandeza não significativa, havendo uma redução na concentração (de 84 mg/l no início para 66 mg/l ao fim). Cálcio variou de 66 mg/l (início) a 70 mg/l (fim), quando se esperava uma concentração bem superior.

No período chuvoso de 2002, dureza e cloreto apresentaram comportamentos semelhantes ao de cálcio e magnésio, com a maior redução ocorrendo no mês de janeiro para o de fevereiro. O aumento na concentração que aqueles dois parâmetros tiveram no período seco não foi significativo, o que mostra uma tendência à estabilização durante os meses secos. Embora em janeiro de 2002 a concentração de dureza estivesse numa faixa que, segundo Sawyer, McCarty & Parkin (1994), classificaria o reservatório como de águas duras, no restante do ano as concentrações ficaram na faixa de águas moderadamente duras.

Em 2003, a concentração de cloreto apresentou um leve e gradual aumento ao longo do ano, não ocorrendo distinções entre as duas estações. No início do ano a concentração foi de 106 mg/l e aumentou até 125 mg/l. O padrão de concentração de dureza não foi tão explícito quanto no ano de 2002, demonstrando mais uma vez a imprevisibilidade e a complexidade do sistema, principalmente numa situação extrema de baixo armazenamento. Diferente do observado no ano de 2002, esses parâmetros sofreram um leve aumento na concentração no período chuvoso (6% para dureza entre janeiro e fevereiro – 134 a 142 mgCaCO<sub>3</sub>/l – e 8% para cloreto entre janeiro e abril – 106 a 115 mg/l), enquanto que, entre janeiro e fevereiro de 2002, dureza apresentou uma redução de 22% e cloreto apresentou uma redução de 31%. Provavelmente os baixos aportes na estação chuvosa em 2003 associados com a evaporação tenham favorecido a leve concentração desses parâmetros. É interessante a ressalva que para todo o ano de 2003 os valores de dureza ficaram na faixa que classifica as águas como moderadamente duras (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994), mesmo com o leve aumento que sofreu em relação ao mês de janeiro.

Também para os dois parâmetros supracitados, uma maior concentração ao final do período de estiagem de 2003 era esperada, mas essa concentração não foi observada. Essa característica é bastante marcante para esse reservatório, o que sugere uma grande estabilidade qualitativa das suas águas mesmo em condições extremas, o que faz com que em épocas de crises suas águas não apresentem muita diferença qualitativa. Isso permitiu que mesmo na grande crise qualitativa pela qual passou o açude Epitácio Pessoa em 1998 (atingindo 16% de sua capacidade) as águas continuassem a ser utilizadas para abastecimento, contendo apenas um aumento tolerável de alguns íons que afetaram a dureza da água.

#### 4.3.4 – Os Anos de 2004 e 2005

O ano de 2004 foi considerado um ano histórico para o açude Epitácio Pessoa. Nesse ano o reservatório atingiu sua capacidade máxima de armazenamento. No início do mês de janeiro, o reservatório estava com 26% de sua capacidade máxima e ao final do mês já tinha 96,5% da capacidade armazenada. Em primeiro de fevereiro de 2004 ocorreu a sangria do açude, algo que não era registrado desde 1989.

Mas uma vez foi verificada a redução brusca dos valores dos parâmetros de qualidade, com reduções de até 50%. De toda a série histórica de dados de qualidade de água, foi nessa estação que os parâmetros apresentaram as menores concentrações.

Sólidos dissolvidos totais reduziram de 309 mg/l em janeiro para 107 mg/l em fevereiro, a partir desse mês ocorreu um leve aumento nos valores e ao fim do ano a concentração era de 185 mg/l.

O mesmo comportamento ocorrido com sólidos dissolvidos totais foi observado nos demais parâmetros. Os valores observados foram os seguintes: alcalinidade total – 98 mgCaCO<sub>3</sub>/l em janeiro, 55 mgCaCO<sub>3</sub>/l em fevereiro e 82 mgCaCO<sub>3</sub>/l em dezembro; cálcio – 62 mg/l em janeiro, 33 mg/l em fevereiro e 54 mg/l em dezembro; magnésio – 63 mg/l em janeiro, 26 mg/l em fevereiro e 47 mg/l em dezembro; dureza – 125 mgCaCO<sub>3</sub>/l em janeiro, 59 mgCaCO<sub>3</sub>/l em fevereiro e 101 mgCaCO<sub>3</sub>/l em dezembro; cloreto – 109 mg/l em janeiro, 42 mg/l em fevereiro e 72 mg/l em dezembro.

O reservatório esteve operando com capacidade máxima até meados de maio de 2004, após esse mês gradualmente reduziu seu volume, com o efeito da estação seca, atingindo ao fim de dezembro de 2004 um volume correspondente a 87,8% da capacidade total. Com a estação

chuvosa do ano de 2005 o reservatório mais uma vez atingiu a capacidade máxima em meados de março, inclusive com sangramento do reservatório, e apenas em agosto de 2005 (último mês analisado) o reservatório reduziu seu volume finalizando o mês com 98,7% do total máximo acumulável.

Não houve variações expressivas dos valores dos parâmetros ao longo do ano de 2005. Em agosto de 2005, a qualidade da água foi bem semelhante à observada em dezembro de 2004, com todos os parâmetros analisados apresentando valores de concentrações bem próximos entre si. Os valores observados de dureza para os dois anos variaram entre faixas consideradas como águas brandas e águas moderadamente dura (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994).

#### **4.3.5 – Fatores Hidroclimáticos**

A partir dos dados disponíveis de precipitação e de climatologia na bacia hidrográfica (a qual o açude Epitácio Pessoa é o exutório) e com a série de volume acumulado no reservatório foi possível fazer uma análise sintética da variabilidade climática e das variações de volume no reservatório. Com essa análise e com a análise da variação da qualidade da água do açude (itens 4.3.1 a 4.3.4) foi possível criar um banco de dados funcional para o reservatório para ser incorporado ao modelo desenvolvido.

Em 1994, o reservatório apresentou um volume acumulado variando entre 53 e 63% da capacidade máxima. A precipitação total observada naquele ano no posto mais próximo da torre de captação (local do ponto de amostragem qualitativa) foi 73% maior que a climatologia anual para aquele posto, o que indica um aporte maior do que o esperado para o ano. Em 1995, o reservatório também recebeu um grande aporte, 100.291.512 m<sup>3</sup>, o que representa quase um quarto da capacidade máxima do reservatório.

Nos anos de 1996 e 1997 o reservatório foi continuamente se esvaziando devido às poucas chuvas ocorridas nesses anos. No início de 1996 o reservatório estava 75,4% cheio e ao final de 1997 estava com 61,5%. A contínua redução de volume iniciada em 1997 representou o período de crise mais dramático para as pessoas que eram abastecidas pelo reservatório.

Infelizmente não é possível fazer inferência do comportamento qualitativo ocorrido no reservatório no período de 1994 a 1997 por causa da quase completa ausência de dados de qualidade de água.

Em 1998 ocorreu uma redução também elevada do montante acumulado. O reservatório praticamente reduziu o volume acumulado à metade ao longo do ano: em janeiro o reservatório estava com 179.151.367 m<sup>3</sup> e em dezembro estava com apenas 89.884.721 m<sup>3</sup> (23,6% da capacidade máxima). Em 1999, esse volume foi sendo reduzido ainda mais, atingindo em novembro o menor volume acumulado, 68.042.336 m<sup>3</sup> (15,11% da capacidade máxima). Considerando os valores obtidos no posto pluviométrico próximo à captação, em 1999 o montante precipitado representou apenas 22,3% da climatologia nesse posto.

Em 2000, o reservatório aumentou um pouco o volume acumulado, atingindo cerca de 210 milhões de metros cúbicos em meados do ano, correspondendo a quase 47% da capacidade de armazenamento máxima do reservatório. Em 2001 a precipitação na bacia foi inferior à esperada e o reservatório ao final do ano estava novamente com um baixo volume de água (cerca de 120 milhões de metros cúbicos, 26,6% da capacidade).

O total anual de precipitação registrado para os anos de 2002 e de 2003 foi superior ao observado nos anos anteriores, embora com valores abaixo da climatologia. O total precipitado durante a estação chuvosa de 2002 representou 88,6% da climatologia e, considerando esses dois anos, foi o período com maior precipitação. Em 2002, durante o mês de janeiro, foi registrado um aumento de 51 milhões de metros cúbicos no volume armazenado. Esse aporte fez com que o reservatório que estava operando com 26,6% da sua capacidade máxima atingisse 38,1%. Durante a estação seca houve uma redução de 50 milhões de metros cúbicos e em dezembro o volume acumulado era de 150.081.447 m<sup>3</sup>. Essa variação não causou grandes alterações na qualidade da água, como se observa nas Figuras 4.5 e 4.6.

Para o período chuvoso de 2003, considerando os valores obtidos no posto pluviométrico próximo à captação, a precipitação representou 67% da climatologia, e a situação foi mais drástica no período seco (apenas 49% da climatologia). Embora, ao contrário do ocorrido em 2002, durante todo o período seco houvesse entradas no reservatório, o volume era bastante baixo e, aliados à evaporação e ao aumento do consumo, levaram o reservatório a uma condição de armazenamento de apenas 26% da capacidade total.

Em situações de armazenamento baixo, como o observado em 2003, espera-se que os reservatórios do semi-árido nordestino apresentem um elevado aumento na concentração de algas, sólidos totais, nutrientes e condutividade elétrica. Para os parâmetros de qualidade de água analisados no açude Epitácio Pessoa não foram observados esses comportamentos (Figuras 4.5 e 4.6). Esse mesmo comportamento foi observado por Pedrosa (2004) e Diniz (2005) também ao

longo da coluna d'água até 20 metros de profundidade (profundidade máxima de reservatório na época do estudo).

Durante o período de escassez ocorrido entre os anos de 1997 e 1999 era esperada uma qualidade pior da água, visto o baixo volume armazenado pelo reservatório que atingiu valores próximos a 15% da capacidade máxima. Por exemplo, os sólidos dissolvidos totais apresentavam concentrações que oscilavam entre 550 e 680 mg/l antes de 1997, durante a crise esse valor aumentou pouco, ficando os valores entre 600 e 800 mg/l, o que não representa um aumento significativo. Entretanto, um comportamento interessante observado é que com os aportes que ocorreram em 2000 (que evitaram o colapso quantitativo do reservatório), as concentrações de SDT reduziram bastante, ficando com valores entre 300 e 400 mg/l até o fim de 2003. Nesse ano o reservatório se encontrava novamente com baixo volume e em janeiro de 2004 ocorreu um grande aporte que fez com que o reservatório operasse em sua capacidade máxima, ocorrendo nova redução na concentração de todos os parâmetros de qualidade analisados.

A precipitação medida em janeiro de 2004 representou um desvio percentual de 1.163,5% da climatologia esperada para o mês – enquanto que a climatologia do posto pluviométrico próximo à torre de captação é de 31 mm, foi precipitado um montante de 360,7 mm, correspondente a 60,6% do montante esperado para todo o ano. A diferença entre o volume final e o inicial em janeiro foi de 288.887.050 m<sup>3</sup>. Essa alta variação de volume evitou que o reservatório entrasse em um novo período de crise. A precipitação elevada ocorrida em 2005 contribuiu para que o reservatório mantivesse a máxima capacidade armazenada.

Foi possível verificar que três períodos bem distintos ocorreram ao longo de toda a série histórica de dados de volume acumulado e precipitação: um período de estiagem extrema (1997 a 1999), um período de cheia extrema (2004 a 2005) e um período normal (demais anos analisados). Isso gera aspectos distintos para a aplicação e validação do modelo, comprovando ainda mais, a necessidade de se ter uma série longa disponível de dados, para que se possa trabalhar isoladamente com esses diferentes períodos. Os três períodos foram modelados conjuntamente para verificar a adaptação do modelo a diversas condições distintas.

Esses resultados, da análise do comportamento qualitativo e hidroclimáticos do reservatório, são importantes para a obtenção dos índices necessários para a aplicação do modelo e para a obtenção das relações entre os índices, os dados de entrada e a qualidade de água prevista.

### 4.3.6 – Reconstituição da Série Histórica de Volume de Entrada

Para uma melhor compreensão dos fenômenos que ocorreram nesse reservatório com a série de dados disponíveis, fez-se necessário determinar o volume aportado ao reservatório pela bacia de drenagem. Como citado anteriormente, as medições fluviométricas são difíceis de serem realizadas para esses reservatórios porque não existem postos fluviométricos suficientes. Também se torna difícil a medição do volume aportado subsuperficialmente ao lago.

Através dessa reconstituição também é possível avaliar o impacto da bacia de drenagem, determinando-se a concentração dos parâmetros de qualidade nas águas afluentes através do balanço de massa. Com isso pode-se determinar o índice Diagnóstico de Impacto pela Drenagem (DID) ou adaptar o modelo para usar a concentração de entrada calculada ao invés do índice DID.

A reconstituição da série histórica de volume de entrada foi realizada a partir de um balanço hídrico simples. Utilizando-se os dados de abastecimento fornecidos pela CAGEPA, os de volume armazenado no reservatório e precipitação fornecidos pelo LMRS e os de lâmina evaporada média mensal obtida por Oliveira (2003), a entrada para cada mês foi calculada através da Equação 4.1:

$$\text{Ent} = \Delta V + \text{EVP} + C_A + C_{\text{IR}} - V_p \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

Ent – entrada mensal ( $\text{m}^3$ );

$\Delta V$  – variação mensal de volume (= volume final do mês – volume inicial do mês) ( $\text{m}^3$ );

EVP – evaporação total mensal ( $\text{m}^3$ );

$C_A$  – consumo mensal para abastecimento ( $\text{m}^3$ );

$C_{\text{IR}}$  – consumo mensal para irrigação ( $\text{m}^3$ );

$V_p$  – volume mensal precipitado sobre o lago ( $\text{m}^3$ ).

A evaporação total mensal foi obtida através do produto da lâmina evaporada no mês pela média das áreas inicial e final do espelho d'água do lago. Os valores das áreas foram fornecidos pelo LMRS. O consumo mensal para irrigação foi o único parâmetro estimado, sendo, desse modo, a variável que agrega todos os erros sistemáticos das demais variáveis. Mesmo com a fiscalização desde a suspensão da irrigação em março de 1999, a prática clandestina desse uso vem sendo efetuada por alguns moradores às margens do lago e não há medição efetiva desse

consumo. Nos meses em que a precipitação do posto próximo à torre de captação e a precipitação média dos postos pluviométricos da bacia foram próximas ou superiores a 25 mm, estimou-se que não haveria necessidade de irrigação artificial naquele mês. Em meses em que, mesmo com essa precipitação, a entrada resultou em valor negativo, tomou-se para irrigação o valor que tornasse a entrada nula. Nos meses em que historicamente não houve entrada, mas mesmo assim o balanço indicava aportes, esses valores foram anulados e os valores de irrigação foram ajustados. Os resultados desse balanço hídrico para determinação das vazões de entrada estão apresentados na Tabela B, em anexo.

Em síntese, verificou-se que, mesmo com a suspensão judicial da irrigação, grandes volumes continuaram sendo retirados para esse fim, corroborando o resultado de Rêgo, Albuquerque & Ribeiro (2000). Isso pode ter sido uma das causas que levaram o reservatório a quase atingir um nível crítico de volume armazenado em 2000.

Os aportes ao reservatório ocorreram apenas nos meses da estação chuvosa, fator resultante da característica temporária dos rios tributários do reservatório – Rio Taperoá e Rio Paraíba. Os anos de 1996 e 1997 tiveram seus aportes concentrados apenas em três meses da estação chuvosa com valores totais não superiores a 70 milhões e 100 milhões de m<sup>3</sup>, respectivamente. Em 1998 não foram verificados aportes, só havendo aportes expressivos no ano de 2000 (total anual de 147 milhões de m<sup>3</sup>).

Os anos de 2002 e 2003 também apresentaram aportes concentrados apenas na estação chuvosa, com uma distribuição melhor entre os meses, proporcionando uma recarga contínua ao reservatório. Em 2002 o montante precipitado foi de cerca de 100 milhões de m<sup>3</sup> e em 2003 foi de apenas cerca de 19 milhões de m<sup>3</sup>.

Nos meses em que houve extravasamento do reservatório nos anos de 2004 e 2005, o valor calculado de entrada não corresponde ao real, pois não se considerou o volume que passou pelo sangradouro. A medição desse volume de saída não é possível pois não havia estações específicas para essa medição nesse reservatório. Isso invalidou o cálculo para os meses em que o reservatório operou com capacidade máxima.

Esses resultados foram comparados com a série de volume de entrada calculada por Diniz (2003)\*. Essa série de comparação correspondia ao período de janeiro de 1999 a maio de 2003.

---

\* COMUNICAÇÃO PESSOAL. (DINIZ, L. *Vazões naturais reconstituídas para o açude Epitácio Pessoa*. Campina Grande, 2003).

Ambas as séries foram semelhantes, havendo apenas poucas divergências em meses correspondentes à estação seca de alguns anos considerados anos secos. Nesses meses, a série fornecida por Diniz (2003) indicava aportes ao reservatório, e o balanço realizado para esse reservatório indicou ausência de entradas.

#### 4.3.7 – Balanço de Massa do Reservatório

Para se determinar a influência do volume aportado ao reservatório através da bacia de drenagem, fez-se o estudo da carga de entrada para cada parâmetro. Partindo-se da série de volumes aportados reconstituído, calculou-se a massa que entrou ao reservatório a partir da Equação 4.2:

$$C_E = \frac{1}{V_E} \cdot \left( C_F \cdot V_F - C_I \cdot V_I + \left( \frac{C_F + C_I}{2} \right) \cdot V_S \right) \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

$C_E$  – concentração de entrada para o parâmetro (mg/l)\*;

$C_F$  – concentração do parâmetro ao final do mês (mg/l)\*;

$C_I$  – concentração do parâmetro ao início do mês (mg/l)\*;

$V_E$  – volume de entrada no reservatório no mês (milhões m<sup>3</sup>);

$V_F$  – volume do reservatório ao final do mês (milhões m<sup>3</sup>);

$V_I$  – volume do reservatório ao início do mês (milhões m<sup>3</sup>).

De acordo com a Equação 4.2, observa-se que foi considerada como concentração de saída (para abastecimento e irrigação) a média entre a concentração final e a inicial para cada mês, pois esse consumo ocorre de modo contínuo ao longo do mês. A escolha pelos valores de concentração a ser tomado como inicial e o final para cada mês foi feita com base nas datas de coleta mais próximas ao início e ao final do mês, respectivamente.

Inicialmente, fez-se o cálculo da concentração de entrada mensal. Entretanto, como em muitos meses não houve aportes significantes e a variação de volume era muito elevada em relação ao volume consumido e ao de entrada, optou-se por fazer o cálculo apenas sazonalmente, descartando-se as estações secas. Isso reduziu consideravelmente os dados disponíveis.

---

\* Para os parâmetros alcalinidade e dureza, a concentração é dada em mgCaCO<sub>3</sub>/l

Além disso, os anos de 2004 e de 2005 foram retirados da série por causa da ocorrência de extravasamento do reservatório num volume não medido, o que invalidou o cálculo para esses anos, pois não se tinha conhecimento da concentração dos parâmetros nas águas extravasadas. Desse modo, retirando-se também os anos de seca extrema em que não houve aportes, a série ficou reduzida a apenas 4 anos, 2000 a 2003. Os resultados desse balanço de massa estão apresentados na Tabela C, em anexo.

#### 4.4 - Aplicação do Modelo Desenvolvido ao Açude Epitácio Pessoa

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam o resultado da aplicação do modelo desenvolvido aos dados obtidos para o açude Epitácio Pessoa, correspondente ao período de maio de 1998 a agosto de 2005. As séries de qualidade de água prevista corresponderam aos seguintes parâmetros de qualidade: sólidos dissolvidos totais, alcalinidade total, cálcio, magnésio, dureza e cloreto. Conforme explicitado no Item 4.1.2, o modelo foi aplicado considerando uma amplitude de previsão hidrometeorológica de três meses. Desse modo, os dados de entrada corresponderam ao valor de concentração do parâmetro no primeiro mês e o montante precipitado nos três meses seguintes. O resultado do modelo representou a qualidade prevista no terceiro mês.

Como se dispunha da climatologia e da precipitação na bacia, o índice MPP foi determinado de modo diferente do sugerido na Figura 4.2. Assim, para um dado mês de previsão  $i$ , o índice MPP foi calculado através da Equação 4.3 abaixo:

$$\text{Valor de Classificação do MPP} = \frac{P_i + P_{i-1} + P_{i-2}}{C_i + C_{i-1} + C_{i-2}} \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde:

P – precipitação na bacia no mês (mm);

C – climatologia da bacia no mês (mm);

$i$  – mês de previsão.

Assim, o índice MPP foi considerado: **B** para Valor de Classificação < 0,75; **A** para Valor de Classificação > 1,25; e **M** para Valor de Classificação entre 0,75 e 1,25.

A seguir, verificou-se o valor do índice DAP para o reservatório. De acordo com as informações disponibilizadas por AESA (2006), esse índice foi considerado igual a 4 (atividades exercidas em menos de 50% da área da bacia de drenagem e conservação da mata nativa entre 40

e 60% da original) e constante para toda a série, pois se considerou que no período analisado não houve variação das condições de conservação de mata nativa e das atividades exercidas na bacia.

Para cada mês verificou-se qual seria o valor do índice DID. Ao verificar os aportes na reconstituição da série histórica (obtida com o balanço hídrico) e os dados da série de precipitação na bacia, considerou-se que para o mês inicial de previsão (agosto de 1998) a bacia estava em condição de grande acúmulo de material que poderia ser carregado para dentro do reservatório com as vazões de entrada. Assim, adotou-se DID inicial igual a 10.

Nos meses seguintes o índice DID foi avaliado em relação ao índice MPP (o que indiretamente refletia se a quantidade precipitada prevista seria capaz de lavar a bacia de drenagem). Desse modo, se houvesse uma variação do índice MPP de um mês para o outro, o índice DID era alterado conforme regras apresentadas no Quadro 4.4 abaixo:

**Quadro 4.4 – Regras de determinação do índice DID para previsão da qualidade de água do açude Epitácio Pessoa (PB).**

VARIAÇÃO DO ÍNDICE MPP (de um mês para outro)	REFLEXO NO ÍNDICE DID	CONDIÇÕES EXCEPCIONAIS
Mudança do MPP de A para M	DID sobe 1 categoria	<b>Na Estação Chuvosa</b> (devido à capacidade de limpeza da bacia): - 3 meses seguidos de MPP=A ou M, DID baixa 1 categoria no 3º mês; <b>Na Estação Seca:</b> - 3 meses seguidos de MPP=B, DID sobe 1 categoria no 3º mês;
Mudança do MPP de M para A	DID baixa 1 categoria	
Mudança do MPP de M para B	DID sobe 1 categoria	
Mudança do MPP de B para M	DID baixa 1 categoria	
Mudança do MPP de B para A	DID baixa 2 categorias	
Mudança do MPP de A para B	DID sobe 2 categorias	

O conjunto de parâmetros foi trabalhado mutuamente. Assim, para cada previsão, buscou-se determinar se haveria concentração ou diminuição do parâmetro, independente de qual fosse esse, visto que os parâmetros escolhidos eram conservativos e diretamente relacionados com o grau de salinização do reservatório. Isso também funcionou para a verificação da aplicabilidade do modelo quando não é considerado particularidades do reservatório.

Para cada mês, baseado nas informações contidas no Quadro 4.3 (informações obtidas com os especialistas), nos valores do índice DID e DAP e na variação de volume observado nos três meses seguintes, fez-se a previsão esperada para os parâmetros, numa escala que variou desde **Redução Bastante Elevada** até **Aumento Bastante Elevado**.

Essa graduação foi transformada em porcentagem de variação, adotados de acordo com o comportamento descrito pelos especialistas e com a análise visual do comportamento apresentado nas Figuras 4.5 e 4.6. Determinou-se a melhor porcentagem de variação através de calibração, buscando aquela que melhor representasse as variações de todos os parâmetros (menor erro quando somados os erros das séries de previsão para cada parâmetro) e

arredondando essa porcentagem para o número inteiro mais próximo e mantendo equidistância de porcentagem entre uma escala lingüística e outra. Essas porcentagens foram aplicadas ao valor inicial de concentração e verificou-se sua relação com o valor observado no terceiro mês seguinte. Assim, o modelo utilizava a seguinte Equação 4.4 como fórmula de recorrência:

$$\text{Previsão mês } i = (\text{Valor observado mês } i-3) \cdot (1 + \text{Porcentagem de variação}) \quad (\text{Equação 4.4})$$

Dessa forma, manteve-se a amplitude de previsão hidrometeorológica de três meses, e como a série de dados utilizada para aplicação do modelo iniciava-se em maio de 1998, a série prevista teve início a partir de agosto de 1998 (Anexo D). As porcentagens de variação adotadas para esse reservatório, após a calibração, foram as seguintes:

- aumento bastante elevado (ABE) → + 20%
- aumento elevado (AE) → + 10%
- aumento médio (AM) → + 5%
- aumento suave (AS) → + 3%
- nenhuma variação (NV) → 0%
- redução suave (RS) → - 3%
- redução média (RM) → - 10%
- redução elevada (RE) → - 25%
- redução bastante elevada (RBE) → - 50%

Para o índice DAP igual a 4, analisou-se qual seria a categoria lingüística mais relacionada para cada valor dos índices MPP e DID (de acordo com os demais dados de entrada do modelo e com o comportamento fornecido pelos especialistas), presente no Quadro 4.5. Na Tabela D, em anexo, estão apresentados os valores dos índices utilizados e o comportamento esperado. As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam as séries de previsão de qualidade de água obtidas.

**Quadro 4.5** – Relação entre as variáveis de entrada do modelo de previsão de qualidade de água e a categoria lingüística para aplicação aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB).

MPP	DID	CATEGORIA LINGÜÍSTICA ADEQUADA	
		Estação Chuvosa	Estação Seca
A	1	RBE	RM
	4	RE	RM
	7	RE	RS
	10	RM	RS
M	1	RE	NV
	4	RE	NV
	7	RE	AS
	10	RM	AM
B	1	NV	AS
	4	NV	AM
	7	AS	AE
	10	AM	ABE

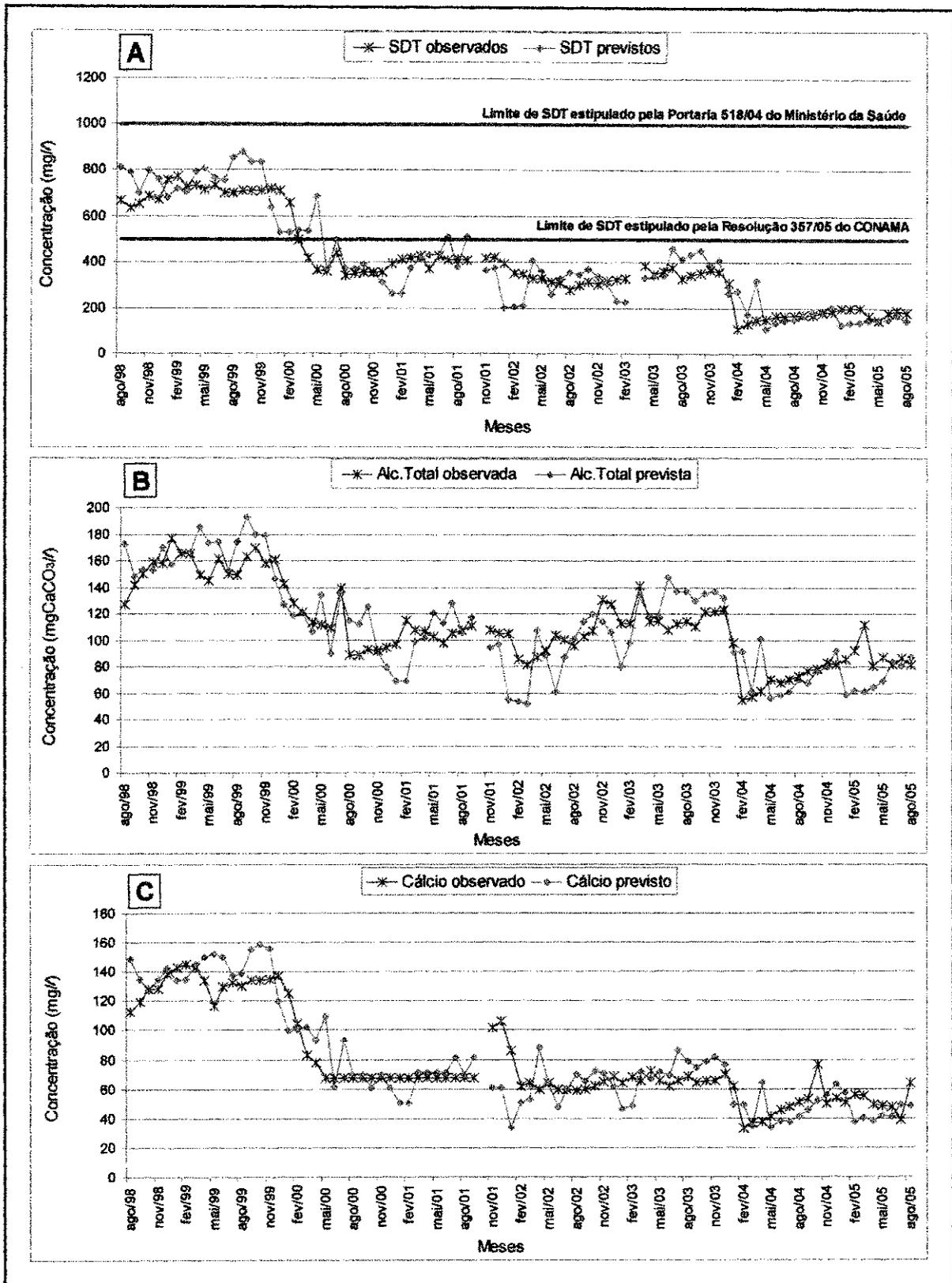


Figura 4.7 – Séries de qualidade de água prevista obtidas através da aplicação do modelo conceitual aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB), referentes ao período de maio de 1998 a agosto de 2005. A: sólidos dissolvidos totais (SDT); B: alcalinidade total (Alc. Total); C: cálcio.

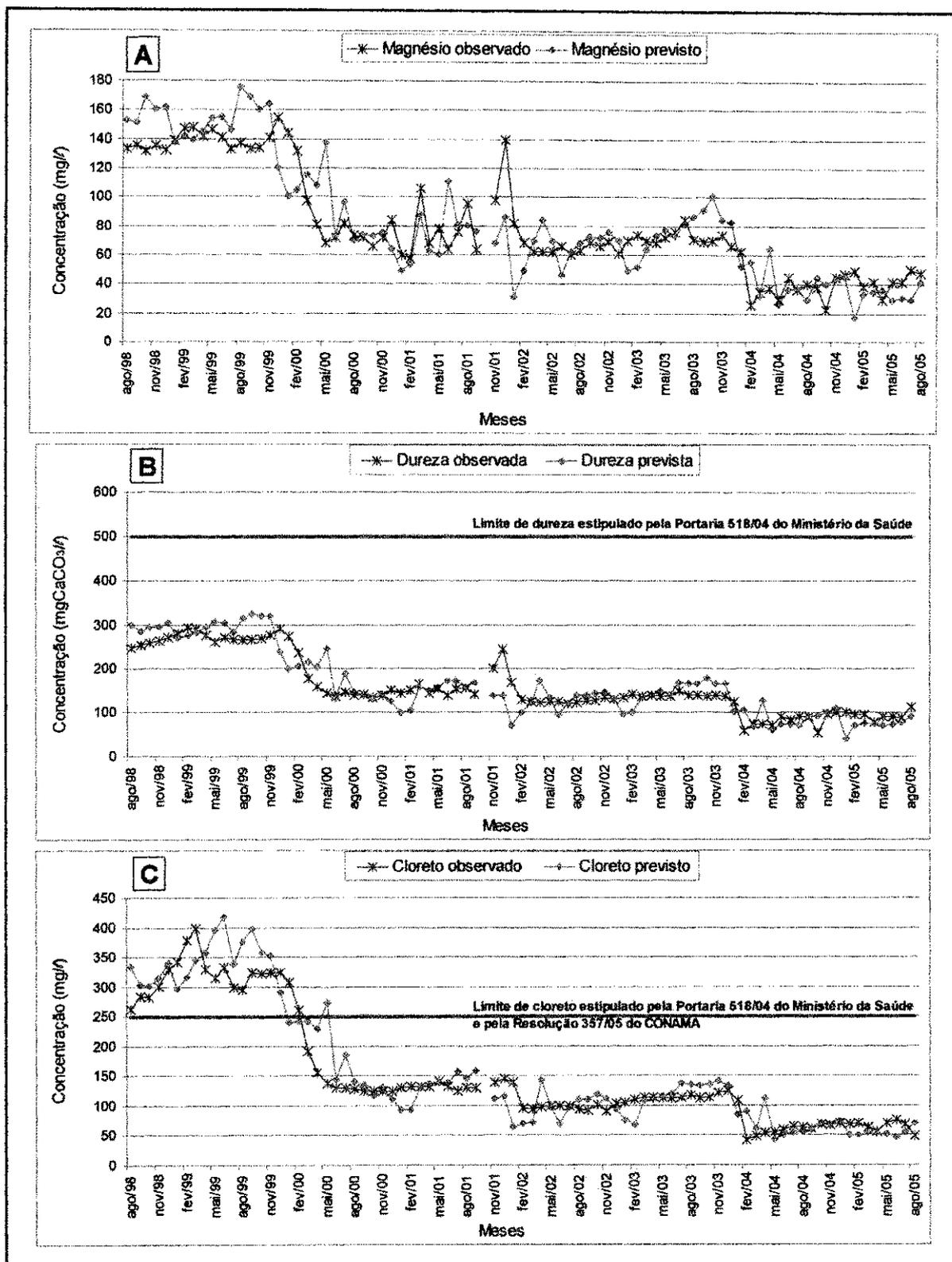


Figura 4.8 – Séries de qualidade de água prevista obtidas através da aplicação do modelo conceitual aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB), referentes ao período de maio de 1998 a agosto de 2005. A: magnésio; B: dureza; C: cloreto.

Avaliando os resultados, verificou-se que o modelo obteve uma boa resposta para a qualidade prevista para o açude Epitácio Pessoa. Embora em alguns meses houvesse uma defasagem (alguns eventos foram previstos com leve atraso e outros antecipadamente), os valores ficaram próximos ao observado. Esses resultados foram satisfatórios apesar de a série de dados de monitoramento de qualidade e de quantidade de água disponível ser curta.

Os parâmetros que tiveram melhor previsão através do modelo foram sólidos dissolvidos totais e cloreto. A correlação entre os dados observados e previstos foi de 0,916 para sólidos dissolvidos totais e de 0,939 para cloreto.

O período em que o reservatório estava com armazenamento médio foi mais bem representado nas previsões dos parâmetros cloreto e dureza. Para os demais parâmetros, foi verificada uma maior discrepância entre os valores observados e os previstos. Entretanto, o resultado foi mais satisfatório que o obtido para a época de seca extrema, e nas épocas de grandes aportes (meses iniciais de 2000, de 2002 e de 2004) o modelo representou bem a grande variação ocorrida nos parâmetros estudados (redução bastante elevada na concentração dos parâmetros).

Em geral, para todos os parâmetros, a série prevista não se ajustou bem no período de seca extrema (entre 1998 e o início de 2000). Provavelmente o modelo não consiga fazer uma boa previsão quando a série informada apresenta um período extenso sem que o índice MPP tenha valor igual a A e com índice DID elevados (Anexo D). Portanto, nos períodos em que houve valores baixos de vazão de entrada e contínua redução de volume armazenado, o modelo apresentou maior defasagem entre a série prevista e a observada. Seria importante a aplicação desse modelo para cada período observado, provavelmente com valores diferentes de porcentagem de variação para cada período. Para isso ser possível, seria necessária uma série de qualidade de água com dados semanais ou quinzenais.

Magnésio apresentou o maior desvio percentual – 23,3%. Isso ocorreu porque a série prevista não acompanhou algumas concentrações ocorridas nos períodos de estiagem, e o início do período normal também não ficou bem ajustado. Isso seria minimizado aplicando-se o modelo isoladamente para esse parâmetro e considerando as peculiaridades do açude em cada período na calibração. Mesmo assim a correlação entre as duas séries foi de 0,871.

O parâmetro com menor coeficiente de correlação foi alcalinidade total (0,831), isso porque a série de previsão em alguns períodos apresentou defasagens em relação à série original, ora adiantado, ora atrasado na previsão. Mesmo assim, esse parâmetro foi o que apresentou o menor desvio percentual médio (18,1%).

Os anos de 2004 e 2005 tiveram bons resultados entre a série prevista e a original. Um dos motivos pode ser o fato de o reservatório conseguir conservar seu estado qualitativo quando está com capacidade de armazenamento alta: com pouca variação qualitativa nesse período, a previsão se torna mais fácil. Entretanto, como não foi possível quantificar o volume que foi extravasado durante a estação chuvosa desses anos, também não foi possível analisar o efeito que esse aporte teria na qualidade final caso não houvesse extravasamento.

Mais uma vez, se o modelo tivesse sido aplicado a cada período isolado, provavelmente esse período de cheia extrema teria sido o que mais precisasse de alterações no modelo original para incorporar o efeito que o extravasamento de volume tem na qualidade final da água do reservatório.

Os valores de correlação e desvio percentual médio estão apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Valores de coeficiente de correlação e de desvio percentual médio obtidos com a aplicação do modelo de previsão de qualidade desenvolvido aos dados do açude Epitácio Pessoa (PB), no período de maio de 1998 a agosto de 2005.

	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO OBTIDO	DESVIO PERCENTUAL MÉDIO
Sólidos dissolvidos totais	0,916	22,1 %
Alcalinidade total	0,831	18,1 %
Cálcio	0,886	19,9 %
Magnésio	0,871	23,3 %
Dureza	0,892	20,4 %
Cloreto	0,939	22,4 %

Esses bons resultados sugerem que o modelo conceitual desenvolvido consegue simular de forma satisfatória as variações na qualidade da água do reservatório, e esses valores de correlação e desvio percentual médio seriam ainda melhores aplicando-se o processo de modelagem, e conseqüentemente a porcentagem de variação de concentração, individualmente para cada parâmetro ajustando-o às peculiaridades do açude Epitácio Pessoa.

Também foi possível verificar a validade das informações fornecidas pelos especialistas, visto que o banco de dados conseguiu agrupar as informações necessárias para uma boa previsão da qualidade de água. A consulta a especialistas – ao se desenvolver um modelo conceitual seguindo a formulação descrita neste trabalho – é, portanto, algo de grande importância porque a qualidade das informações disponíveis no banco de dados é o fator principal para a obtenção de uma boa série de previsão. Quanto mais os especialistas em reservatórios de abastecimento consultados conhecer o reservatório em estudo, melhor será o modelo resultante.

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo desenvolvido reuniu as características fundamentais propostas no trabalho: simplicidade de uso, resultados úteis para a gestão e adequabilidade para aplicação em reservatórios localizados no semi-árido destinados ao abastecimento populacional. O desenvolvimento desse modelo foi possível mesmo dispondo-se de séries curtas de dados referentes à bacia e ao reservatório (realidade da maioria dos reservatórios dessa região).

O modelo conseguiu agregar de forma satisfatória todos os dados de entrada que são de distintas naturezas (dados de qualidade de água, estado de conservação da bacia, dados de volume acumulado no reservatório, dados provenientes da previsão hidrometeorológica) e as técnicas aplicadas permitem ser adaptadas para outros reservatórios de abastecimento do semi-árido.

O modelo proposto, por ser um modelo do tipo conceitual, não fez inferências sobre o valor numérico exato esperado para a concentração de uma determinada espécie qualitativa. Ao contrário, o modelo predisse aumentos e decréscimos nas concentrações numa escala lingüística que varia desde **Redução Bastante Elevada** até **Aumento Bastante Elevado**. Esse resultado lingüístico pôde ser expresso posteriormente em valores.

As entrevistas realizadas com os especialistas são uma etapa fundamental para formulação do modelo conceitual e permitiram elaborar um banco de dados com informações muito importantes para gerar resultados na modelagem. Tais informações são úteis não apenas para a modelagem de processos qualitativos em reservatórios de abastecimento do semi-árido, como também para a gestão desses corpos hídricos. Sugere-se para futuros trabalhos, que as entrevistas com os especialistas sejam realizadas individualmente numa primeira etapa e, posteriormente, sejam reunidos todos os entrevistados para que se faça uma discussão coletiva sobre os resultados preliminares obtidos, aprimorando e validando o banco de dados inicial.

Através da série disponível de dados para o açude Epitácio Pessoa foi possível verificar três períodos bem distintos: um período de estiagem extrema (1997 a 1999), um período de cheia extrema (2004 a 2005) e um período normal (demais anos analisados).

Verificou-se que a qualidade da água no açude Epitácio Pessoa não variou de modo considerável em épocas de estiagem, nem mesmo durante a crise quantitativa ocorrida entre os

anos de 1997 e 1999. Não há concentração expressiva dos parâmetros de qualidade analisados durante esses períodos, de modo que o reservatório apresenta apenas crises de volume armazenado, mas com águas de boa qualidade para tratamento para abastecimento humano.

Uma característica também importante observada é a rápida redução da concentração desses parâmetros quando há aportes elevados em relação ao volume armazenado. O sistema rapidamente recupera sua qualidade, ocorrendo reduções de até 50% na concentração dos parâmetros de qualidade ao fim da estação chuvosa.

O processo de reconstituição da série histórica de vazões afluentes ao açude Epitácio Pessoa e o balanço de massa do reservatório apresentaram resultados úteis para a compreensão da variabilidade do sistema. As principais dificuldades observadas nesses processos foram: (1) dificuldade em estimar o volume retirado clandestinamente do reservatório destinado à irrigação; (2) dificuldade em estimar a qualidade da água aportada nas estações chuvosas de 2004 e de 2005; (3) impossibilidade de estimar volumes aportados e extravasados durante essas estações chuvosas em 2004 e 2005 por não haver nenhum tipo de medição para isso.

O modelo concebido conseguiu representar de forma satisfatória o comportamento qualitativo do açude Epitácio Pessoa, inclusive nos períodos de cheia e seca extremas. Esses resultados seriam melhores se houvesse uma série de dados de monitoramento de qualidade e de quantidade de água mais extensa que possibilitasse uma análise mais minuciosa dos fenômenos ocorridos em cada um dos três períodos distintos observados no reservatório (estiagem extrema, cheia extrema e período normal).

Os valores calibrados da porcentagem de variação relacionados à escala lingüística resultaram num bom ajuste entre as séries previstas e as observadas. Analisando-se as séries de previsão geradas pelo modelo, percebeu-se que alguns poucos eventos foram previstos com leve atraso e outros antecipadamente, mas em geral com os valores próximos ao observado.

Os parâmetros que tiveram melhor ajuste no modelo foram sólidos dissolvidos totais e cloretos. O primeiro com 0,916 de coeficiente de correlação e o segundo com 0,939. Magnésio foi o parâmetro que apresentou o maior desvio percentual médio – 23,3% – pois a série prevista não acompanhou algumas concentrações ocorridas nos períodos de estiagem, mesmo assim o coeficiente de correlação entre as duas séries foi de 0,871. O parâmetro com menor coeficiente de correlação foi alcalinidade total (0,831) pois a série de previsão em alguns períodos apresentou defasagens em relação à série original, ora adiantado, ora atrasado na previsão, mas esse mesmo parâmetro foi o que apresentou o menor desvio percentual médio (18,1%).

O modelo desenvolvido se adequou bem ao objetivo proposto e pode ser uma ferramenta de fácil entendimento e uso, e bastante útil para a gestão de reservatórios localizados no semi-árido destinados ao abastecimento humano, facilitando, desse modo, as tomadas de decisões sobre o manejo de suas águas.

Recomenda-se, em trabalhos futuros, a aplicação desse modelo a outros reservatórios de abastecimento humano no semi-árido, verificando a validação dos seus resultados e a capacidade de adaptação às suas características peculiares. Seria ideal que o modelo fosse aplicado separadamente para cada parâmetro, utilizando as faixas mais adequadas de porcentagem de variação da escala lingüística em cada parâmetro.

Recomenda-se, também, ao adaptar o modelo para uso em algum reservatório de abastecimento, fazer uma análise de sensibilidade verificando as variáveis de entrada mais influentes no resultado. Em estudos futuros relacionados ao açude Epitácio Pessoa, sugere-se realizar essa análise de sensibilidade, buscando avaliar a variação ocorrida em cada um dos três períodos observados no reservatório.

Recomenda-se, por fim, para futuras pesquisas, o desenvolvimento de uma metodologia para gerar um novo banco de dados através de especialistas e a aplicação desse modelo de forma individual a cada um dos parâmetros de qualidade de água do açude Epitácio Pessoa que foram utilizados nesta pesquisa, calibrando as variáveis para cada parâmetro e analisando as particularidades e os resultados obtidos.

"Não devemos ter medo dos confrontos. Até os planetas se chocam e do caos nascem as estrelas."

**Charles Chaplin**, cineasta inglês (1889-1977)

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE – Agência de Desenvolvimento do Nordeste. **O Nordeste semi-árido e o polígono das secas**. Disponível em <<http://www.adene.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2006.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Geoprocessamento do Estado da Paraíba**. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento.php>>. Acesso em 12 abr. 2006.

**AGENDA 21 GLOBAL**. 1992. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/?id\\_estrutura=18&id\\_conteudo=578](http://www.mma.gov.br/?id_estrutura=18&id_conteudo=578)>. Acesso em: 13 jan. 2006.

ALBANO, G.D. **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 Jaguari-Jacareí – Sistema Cantareira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004. 230f.

ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; PEGORINI, E.S.; DALARMI, O. A crise da água e os mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C.V. (Ed.). **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão**. Estudo de caso do Altíssimo Iguazu. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 2003. p.33-84.

ARAÚJO, J.C.; SANTAELLA, S.T. Gestão da qualidade. In: CAMPOS, N.; STUDART, T. (Eds.) **Gestão das águas: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.159-180.

ASA – Articulação no Semi-Árido Brasileiro. **O Semi-Árido Brasileiro**. Disponível em <<http://www.asabrasil.org.br>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.L.; PORTO, M. Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.3, n.1, jan./mar., 1998. p.21-51.

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücher Limitada, 1982. 680p.

BARBOSA, J.E.L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido paraibano**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, UFSCar, São Carlos, 2002. 208f.

- BARRETO, A.L.P. **Lagoas intermitentes do semi-árido paraibano: inventário e classificação**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, UFPB, João Pessoa, 2001. 82f.
- BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p.635-649.
- CALIJURI, M.C. **Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos e ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1988. 293f.
- CAMPOS, J.N.B.; SOUZA FILHO, F.A. A Gestão de águas no Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., Recife – PE. **Anais**. Recife: ABRH, 1995. p.63-67.
- CARNEIRO, F.M. **Análise do estudo de impacto ambiental e da qualidade da água – o caso Açude Atalho – Brejo Santo, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, UFC, Fortaleza, 2002. 176f.
- CARNEIRO, J.O. **Recursos de solo e água no semi-árido nordestino**. João Pessoa: A União, 1998. 115p.
- CARVALHO, F.P.A.; GOMES, J.P.A. **Estudos da qualidade de vida dos municípios do semi-árido piauiense: Relatório Técnico Final**. Teresina: TROPEN, 2002.
- CEBALLOS, B.S.O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Microbiologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, USP, São Paulo, 1995. 192f.
- CEBALLOS, B.S.O.; KONIG, A.; DINIZ, C.R.; WATANABE, T.; MISHINA, S. de V. Variabilidade da qualidade das águas de açudes nordestinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu – PR. **Anais (CD-ROM)**. Foz do Iguaçu: ABES, 1997.
- CEBALLOS, B.S.O.; DINIZ, C.R.; KÖNIG, A. Algas como bioindicadores do nível trófico de ecossistemas lênticos do semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.3, n.4, jul./dez., 1998. p.137-145.
- CEBALLOS, B.S.O.; KÖNIG, A.; OLIVEIRA, J.F. Dam reservoir eutrophication: a simplified technique for a fast diagnosis of environmental degradation. **Water Research**, Great Britain, v.32, n.11, nov., 1998. p.3477-3483.
- CRISPIM, M.C.; LEITE, R.L.; WATANABE, T. Evolução do estado trófico em açudes temporários, no nordeste semi-árido, durante um ciclo hidrológico, com ênfase na comunidade zooplanctônica. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS: CONSERVAÇÃO, 5., Vitória – ES. **Anais**. São Paulo: ACIESP, v.3, 2000. p.422-430.

DASSIE, M.; MENDONÇA, A.S.F. Aplicação de modelos chuva-vazão e de balanço hídrico na análise de impactos da retirada de água de lagoas (estudo de caso). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa – PB. **Anais (CD-ROM)**. João Pessoa: ABES, 2001.

DINIZ, C.R. **Ritmos nictemerais e distribuição espaço-temporal de variáveis limnológicas e sanitárias em dois açudes do trópico semi-árido (PB)**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – UFCG, Campina Grande, 2005. 194f.

DINIZ, L. **Vazões naturais reconstituídas para o açude Epitácio Pessoa**. Campina Grande, 2003. COMUNICAÇÃO PESSOAL.

DNOCS – Departamento de Obras Contra as Secas. **Barragens no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Ministério do Interior, 1990. 160p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Linhas de ação para o semi-árido**. Disponível em <[http://www.embrapa.br/linhas\\_de\\_acao/ecossistemas/semi\\_arido/index\\_html/mostra\\_documento](http://www.embrapa.br/linhas_de_acao/ecossistemas/semi_arido/index_html/mostra_documento)>. Acesso em: 27 abr. 2006.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos da Limnologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FISCHER, S.G.; GRIMM, N.B. Streams and disturbance: are cross-ecosystems comparisons useful? In: COLE, J.C.; LOVETT, G.M.; FINDLAY, S.E.G. (Ed.). **Comparative analysis of ecosystems: patterns, mechanisms and theories**. New York: Springer-Verlag, 1991. p.196-221.

FREIRE, R.H.F.; SANTAELLA, S.T. Avaliação do processo de mistura no interior de reservatórios do semi-árido nordestino brasileiro através de medidas de condutividade elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa – PB. **Anais (CD-ROM)**. João Pessoa: ABES, 2001.

GALVÃO, C.O.; GOMES FILHO, M.F. **Previsão de volume armazenado no açude Boqueirão para o ano de 2003 a partir da previsão de chuvas para o norte do Nordeste**. Campina Grande: UFCG, 2003.

GALVÍNIO, J.D.; SOUSA, F.A.S. Uso do modelo TOPAZ para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.9, n.4, out./dez., 2004. p.69-75.

GASTALDINI, M.C.C.; TEIXEIRA, E.C. Avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.453-490.

GUIMARÃES, A.O.; MELO, A.D.; CEBALLOS, B.S.O.; GALVÃO, C.O.; RIBEIRO, M.M.R. Aspectos da gestão do açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande – MS. **Anais (CD-ROM)**. Campo Grande: ABES, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Boletim Informativo**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 ago. 2004.

JACCON, G. **As precipitações anuais da região paraibana**. Recife: SUDENE/DRN, 1982. 97p.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Doméstico**. 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 681p.

KOIDE, S.; SOUZA, M.A.A. Monitoramento da qualidade da água. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.567-585.

KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; SILVA, P.N.; WATANABE, T. Ocorrência de algas potencialmente toxigênicas em mananciais do Cariri Paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro – RJ. **Anais (CD-ROM)**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

LACERDA, A.V. **Gestão participativa e integrada: uma perspectiva à sustentabilidade dos recursos naturais na bacia hidrográfica do açude Taperoá II, no semi-árido paraibano**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, UFPB, João Pessoa, 2001. 153f.

LMRS – Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba. **Hidroinforme**. Boletim de Monitoramento de Açudes na Paraíba. Campina Grande: UFPB, 2002.

\_\_\_\_\_. **Batimetria apoiada por GPS: açude Boqueirão**. Relatório Técnico. Campina Grande: UFPB, 2004. 15p.

\_\_\_\_\_. **Curva cota-área-volume de 2003 do açude Boqueirão**. Campina Grande, 2005. COMUNICAÇÃO PESSOAL.

LUCHINI, A.M. A experiência internacional em gestão dos recursos hídricos – algumas considerações para o Brasil. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5., Natal – RN. **Anais (CD-ROM)**. Natal: ABRH, 2000.

MALTCHIK, L.; COSTA, M.A.; DUARTE, M.D. Inventário das lagoas intermitentes do semi-árido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 7., Florianópolis – SC. **Anais (CD-ROM)**. Florianópolis: UFSC, 1999.

MARGALEF, R. Características de las aguas de represa como indicadoras del estado de los ecosistemas terrestres de las respectivas cuencas. In: REUNIÃO SOBRE ECOLOGIA E PROTEÇÃO DE ÁGUAS CONTINENTAIS, São Carlos – SP. **Anais**. São Carlos: OEA/UNESCO/MAB/USP, 1981. p.39-109.

\_\_\_\_\_. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983. 1010p.

MELO, A.D. **Operação de reservatórios no semi-árido considerando critérios de qualidade de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UFCG, Campina Grande, 2005. 88f.

MENESCAL, R.A.; VIANA, F.L.; FIGUEIREDO, N.N.; GONDIM FILHO, J.G.C. Gestão dos recursos hídricos e a garantia do abastecimento humano de grandes aglomerados urbanos no semi-árido – o caso de Fortaleza. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.9, n.1, jan./mar., 2004. p.217-232.

MEYBECK, M.; CHAPMAN, D.V.; HELMER, R. **Global freshwater quality: a first assessment.** Massachusetts: WHO/UNEP (Ed.), Cambridge, Blackwell, 1989. 366p.

MOLLES, C.M.; DAHM, C.N. A perspective on El Niño and La Niña: global implications for stream ecology. **Journal North American Benthological Society**, v.9, 1990. p.68-76.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos.** 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200p.

OLIVEIRA, G.M. **Estudo da evaporação nas microrregiões do Cariri e Sertão da Paraíba.** Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – UFCG, Campina Grande, 2003. 203f.

OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; GALVÃO, C.O.; LEITÃO, T.J.V. Estimativa da evaporação e análise do uso do coeficiente (Kp) do tanque "classe A" nas regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.10, n.4, out./dez., 2005. p.73-83.

PAIVA, M.P. **Grandes represas do Brasil.** Brasília: Editerra, 1982. 304p.

PARAÍBA (Secretaria do Planejamento). **Plano de desenvolvimento sustentável 1996-2010.** João Pessoa: Secretaria do Planejamento, 1997. 179p.

PEDROSA, A.S. **Atividades antropogênicas na bacia de drenagem e qualidade das águas do açude Epitácio Pessoa – PB.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, UEPB, Campina Grande, 2004. 186f.

RAPPAPORT, R.A. Natureza, cultura e antropologia ecológica. In: SHAPIRO, H.L. (Ed.). **Homem, cultura e sociedade.** São Paulo: Martins Fontes, 1982. p.251-282.

RASOOL, S.I. On dynamics of desert and climate. In: HOUGHTON, J.T. (Ed.). **The global climate.** New York: Cambridge University Press, 1984. p.107-120.

REBOUÇAS, A.C. Panorama da água doce no Brasil. In: \_\_\_\_\_ (Org.). **Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil.** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados/Universidade de São Paulo; Rio de Janeiro: ABC, 1997. p.59-107.

\_\_\_\_\_. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p.1-37.

RÊGO, J.C.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; RIBEIRO, M.M.R. Uma análise da crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 4., Natal – RN. **Anais**. Natal: ABRH, v.2., 2000. p.459-468.

RÊGO, J.C.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; GALVÃO, C.O. Participação da sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB, Brasil. In: INTER-AMERICAN DIALOGUE ON WATER MANAGEMENT, 4., Foz do Iguaçu – PR. **Anais (CD-ROM)**. Foz do Iguaçu: ABRH/IAWR, 2001.

SACHS, I. Desenvolvimento sustentável, bio-industrialização, descentralizado e novas configurações rural-urbanas: ao caos da Índia e do Brasil. In: VIERA, P.F.; WEBER, J. **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental**. São Paulo: Cortez Editora, 1997. p.469-494.

SANDERS, T.G.; WARD, R.C.; LOFTS, J.C.; STEELE, T.D.; ADRIAN, D.D.; YEVJEVICH, V. **Design of networks for monitoring water quality**. Littleton: Water Resources Publication, 1983. 328p.

SANSIGOLO, C.A. Análise das precipitações diárias de Piracicaba, SP, visando planejamento agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., Maceió – AL. **Anais**. Maceió: SBA, 1989. p.224-231.

SARMENTO, F.J. Avaliação Estocástica de Risco de Colapso: O Caso do Abastecimento de Água de Campina Grande – PB – Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.9, n.2, abr./jun., 2004. p.51-59.

SAWYER, C.N.; McCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for environmental engineering**. 4.ed. New York: McGraw-Hill Inc., 1994. 658p.

SCHLESINGER, W.H.; REYNOLDS, J.F.; CUNNINGHAM, G.L.; HUENNEKE, L.F.; JARRELL, W.M.; VIRGINIA, R.A.; WHITFORD, W.G. **Biological feedbacks in global desertification**. *Journal Science*, New York, v.247, n.4946, mar., 1990. p.1043-1048.

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. Unidade estadual de gerenciamento do PROÁGUA. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba: relatório final de diagnóstico**. João Pessoa. Tomo 1, jul., 2001.

SERPA, G.A. Guerra pela água. **Economia e Mais – Revista de Economia do Ceará**, Fortaleza, v.3, n.30, ago., 1999.

SILANS, A.M.B.P.; SILVA, T.C. Sustentabilidade hídrica e vulnerabilidade de uma bacia no semi-árido do Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 3., Maputo, Moçambique. **Anais (CD-ROM)**. Maputo: AMCT/APRH/ABRH. 1997.

SILVA, B.B.; LIMA, N.M. Modelo climático de previsão da pluviometria do Estado da Paraíba **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.9, n.2, abr./jun., 2004. p.115-124.

SILVA, M.A.V.; BRAGA, C.; AGUIAR, M.J.N.; NITZCHE, M.H.; SILVA, B.B.; VENTURA, E. **Atlas climatológico do Estado da Paraíba**. 2.ed. Campina Grande: Núcleo de Meteorologia Aplicada, UFPB, 1987.

SOUZA, C.A.F. **Águas: legislações e políticas para uma utilização racional, o caso dos irrigantes do açude Epitácio Pessoa – Boqueirão – Paraíba – Brasil**. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Ciências da Sociedade) – UEPB, Campina Grande, 2001. 145f.

SOUZA FILHO, F.A.; CAMPOS, J.N.B. Um Método Paramétrico de Avaliação do Potencial de Salinização de Reservatórios Aplicado a Regiões Semi-Áridas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.10, n.2, abr./jun., 2005. p.5-14.

SPERLING, E. Uso de relações limnológicas para avaliação da qualidade da água em mananciais de abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa – PB. **Anais (CD-ROM)**. João Pessoa: ABES, 2001.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996. 240p.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J.G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. v.1. São Carlos: ILEC/IE, 2000. 280p.

TAVARES, J.L.; CEBALLOS, B.S.O.; ALBUQUERQUE, F.; GÓIS, R.S.S. Interferência de fatores hidrológicos na qualidade da água de uma represa do trópico semi-árido (Sapé-PB-Brasil). In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL - GESTION AMBIENTAL EN EL SIGLO XXI, 26., Lima, Peru. **Anais (CD-ROM)**. Lima: AIDIS, 1998.

TEIXEIRA, C.A.; PORTO, R.L.L. Gerenciamento de bacias hidrográficas integrando os aspectos de quantidade e qualidade de água. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., Natal – RN. **Anais (CD-ROM)**. Natal: ABES, 2004.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS/ABRH, 1998. 669p.

TUNDISI, J.G. Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 7., 1999, São Carlos. **Conferência de abertura**. São Carlos: SBL, 1999. 24p.

\_\_\_\_\_. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2.ed. São Carlos: Editora RiMa/III, 2003. 256p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI. The Lobo-Broa ecosystem research. In: J. G. Tundisi, J.C.; BICUDO, C.F.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Ed.). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. p.199-243.

VALENÇA, M.; VALENÇA, A. Modelagem do processo chuva X vazão e vazão X vazão utilizando redes neurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., João Pessoa – PB. **Anais (CD-ROM)**. João Pessoa: ABRH, 2005.

VASCONCELOS, J.M. **As políticas públicas no semi-árido piauiense a partir da década de 1990: uma discussão sobre a dimensão econômica da sustentabilidade**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, UFPI, Terezina, 2005. 153f.

VIEIRA, V.P.P.B. Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do Nordeste. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.1, n.1, jan./jun., 1996. p.89-107.

\_\_\_\_\_. Água doce no semi-árido. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002a. p.507-530.

\_\_\_\_\_. Sustentabilidade do semi-árido brasileiro: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.4, out./dez., 2002b. p.105-112.

\_\_\_\_\_. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.2, abr./jun., 2003. p.7-17.

# Anexos

---

## Anexo A – Série de dados de qualidade de água do açude Epitácio Pessoa (PB) utilizada na pesquisa

Tabela A - Série de dados de qualidade de água do açude Epitácio Pessoa (PB) fornecida pela CAGEPA e utilizada na pesquisa.

DATA	SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cloroito (mg/l)	DATA	SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cloroito (mg/l)
nov./94*	650	153	-	-	266	330	17-fev-99	790	167	140	158	298	410
02-fev-95	-	140	-	-	280	340	22-fev-99	795	169	142	156	298	405
15-fev-95	830	140	-	-	284	348	01-mar-99	750	180	140	158	298	400
jun./95*	-	122	-	-	206	235	08-mar-99	770	180	148	146	294	400
jun./95*	640	122	-	-	206	235	15-mar-99	710	166	148	142	290	400
ago./95*	510	121	-	-	184	204	22-mar-99	710	164	144	146	290	400
ago./95*	-	120	-	-	184	204	29-mar-99	720	138	136	150	286	400
16-jan-96	680	146	79	132	211	225	05-abr-99	760	160	134	144	278	325
13-fev-96	566	136	35	48	284	198	12-abr-99	730	148	128	150	278	350
11-jul-96	660	111	42	22	194	217	19-abr-99	730	144	130	140	270	335
11-jul-96	630	114	42	22	194	217	26-abr-99	720	144	144	134	278	310
28-mai-98	681	144	124	128	252	280	03-mai-99	730	140	124	146	270	300
04-jun-98	780	124	108	128	236	256	10-mai-99	730	143	110	150	260	290
10-jun-98	608	122	110	124	234	247	17-mai-99	670	138	110	140	250	310
29-jun-98	590	126	120	128	248	259	24-mai-99	710	138	110	160	270	325
06-jul-98	595	124	116	146	262	252	31-mai-99	740	168	128	138	266	350
13-jul-98	584	124	112	134	246	250	07-jun-99	740	162	134	150	284	350
20-jul-98	580	130	112	134	246	250	14-jun-99	730	150	132	148	280	325
20-jul-98	580	130	78	167	245	245	28-jun-99	730	172	124	126	250	325
27-jul-98	-	130	114	124	238	265	05-jul-99	690	148	130	140	270	300
03-ago-98	790	126	110	144	254	265	12-jul-99	690	152	132	136	268	300
10-ago-98	530	127	116	128	244	262	19-jul-99	710	151	135	130	265	300
17-ago-98	612	125	108	142	250	259	27-jul-99	710	151	135	130	265	300
21-ago-98	840	120	114	128	242	263	03-ago-99	680	153	112	156	268	295
31-ago-98	571	140	116	128	244	265	09-ago-99	690	138	136	130	266	290
set./98*	720	148	124	136	260	267	16-ago-99	710	154	132	134	266	290
02-set-98	600	139	116	140	256	288	23-ago-99	710	149	130	140	270	300
08-set-98	610	142	116	138	254	290	30-ago-99	710	154	142	128	270	300
10-set-98	605	139	116	138	254	290	13-set-99	710	150	134	134	268	325
14-set-98	605	139	116	138	254	290	20-set-99	710	175	134	134	268	325
21-set-98	670	146	128	124	252	282	27-set-99	710	164	134	134	268	325
05-out-98	710	142	130	128	258	285	05-out-99	710	173	134	134	268	325
13-out-98	610	155	124	136	260	292	13-out-99	710	170	136	134	270	320
18-out-98	610	153	126	136	262	271	18-out-99	710	171	133	137	270	320
26-out-98	680	151	132	128	260	284	25-out-99	710	165	134	134	268	325
03-nov-98	680	143	126	134	260	290	08-nov-99	710	157	136	140	276	320
09-nov-98	780	178	128	132	260	295	13-nov-99	710	172	134	136	270	325
16-nov-98	630	157	134	130	264	300	16-nov-99	710	150	134	142	276	325
23-nov-98	710	153	120	154	274	288	22-nov-99	710	163	134	144	278	325
29-nov-98	640	165	134	128	262	335	29-nov-99	715	150	136	144	280	325
03-dez-98	-	148	132	144	276	325	06-dez-99	715	149	134	152	286	325
09-dez-98	670	157	134	128	262	300	13-dez-99	715	151	140	146	286	325
14-dez-98	660	159	148	130	278	335	20-dez-99	730	153	134	164	298	325
21-dez-98	690	171	140	130	270	360	27-dez-99	730	190	140	158	298	325
04-jan-99	770	161	144	138	282	321	03-jan-00	735	163	138	160	298	330
08-jan-99	760	177	146	138	284	325	10-jan-00	730	146	134	136	290	330
18-jan-99	760	182	138	150	288	350	17-jan-00	717	138	124	142	266	307
25-jan-99	740	188	144	130	274	375	24-jan-00	700	135	116	144	260	290
01-fev-99	750	166	146	146	292	350	31-jan-00	682	132	114	140	254	285
08-fev-99	760	161	154	130	284	350	07-fev-00	720	129	114	140	254	285

Legenda: SDT = sólidos dissolvidos totais; Alc. total = alcalinidade total; Ca = cálcio; Mg = magnésio.

\* sem especificação do dia de coleta na série original

**Tabela A (cont.)** - Série de dados de qualidade de água do açude Epitácio Pessoa (PB) fornecida pela CAGEPA e utilizada na pesquisa.

DATA	SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cloreto (mg/l)	DATA	SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cloreto (mg/l)
14-fev-00	678	130	110	140	250	270	09-dez-02	329	124	-	-	-	-
21-fev-00	610	130	102	132	234	266	16-dez-02	316	131	66	60	126	105
28-fev-00	620	123	92	116	208	225	23-dez-02	308	128	66	66	132	104
09-mar-00	506	126	88	102	190	206	30-dez-02	311	129	66	64	130	104
13-mar-00	510	112	86	105	184	191	02-jan-03	322	113	64	70	134	106
20-mar-00	476	125	80	92	172	190	03-fev-03	326	113	68	74	142	110
27-mar-00	491	122	78	94	172	184	06-mar-03	-	141	66	70	136	114
03-abr-00	440	119	78	92	170	160	01-abr-03	385	114	72	68	140	115
10-abr-00	420	116	74	90	164	160	02-mai-03	345	114	66	72	138	113
17-abr-00	425	114	74	84	158	160	28-mai-03	-	363	158	184	342	398
24-abr-00	380	104	86	58	144	142	02-jun-03	361	108	62	76	138	112
02-mai-00	380	108	68	76	144	142	01-jul-03	377	113	66	84	150	114
08-mai-00	370	113	68	74	138	129	01-ago-03	325	112	74	66	140	121
15-mai-00	360	110	68	42	144	149	04-ago-03	321	119	70	70	140	121
22-mai-00	350	115	68	82	148	130	18-ago-03	308	115	64	76	140	116
05-jun-00	360	109	68	72	138	132	25-ago-03	347	112	66	70	136	114
03-jul-00	440	140	68	82	146	131	01-set-03	345	106	66	66	132	113
07-ago-00	340	89	68	74	140	128	15-set-03	336	110	62	72	134	113
04-set-00	350	89	68	72	142	126	22-set-03	346	113	-	-	146	109
03-out-00	355	93	68	66	134	125	29-set-03	340	113	-	-	144	114
01-nov-00	355	92	68	72	140	125	01-out-03	353	122	66	70	136	114
04-dez-00	355	95	68	84	152	126	03-nov-03	365	122	66	74	140	121
02-jan-01	396	97	68	60	144	131	01-dez-03	355	123	70	66	136	125
05-fev-01	413	115	68	58	152	133	05-jan-04	380	123	75	82	157	137
05-mar-01	417	108	68	106	166	133	22-jan-04	326	91	67	54	121	102
03-abr-01	427	107	68	68	144	132	19-jan-04	386	122	71	76	147	141
07-mai-01	368	103	68	78	154	142	27-jan-04	143	57	36	38	74	57
04-jun-01	426	98	68	64	140	133	02-fev-04	107	55	33	26	59	42
09-jul-01	406	105	68	76	154	125	16-mar-04	134	57	37	35	73	49
03-ago-01	415	108	68	96	156	130	14-abr-04	145	61	37	37	75	55
03-set-01	410	111	68	64	142	130	11-mai-04	154	70	41	29	71	57
out./01*	-	-	-	-	-	-	09-jun-04	164	68	46	45	90	60
06-nov-01	419	108	102	98	200	140	13-jul-04	165	70	48	37	84	65
03-dez-01	424	105	106	140	246	145	26-ago-04	168	73	51	40	91	63
02-jan-02	395	105	86	82	168	140	04-set-04	169	77	53	36	91	62
04-fev-02	352	86	62	68	130	96	05-out-04	171	78	77	23	54	69
04-fev-02	-	82	-	-	-	-	03-nov-04	181	83	50	45	95	67
04-mar-02	345	82	64	62	126	95	02-dez-04	185	82	54	47	101	72
01-abr-02	326	87	60	62	122	98	19-jan-05	197	86	51	49	100	69
06-mai-02	325	92	64	62	126	100	22-fev-05	199	92	56	39	95	71
03-jun-02	313	104	60	66	126	100	28-mar-05	201	112	55	41	97	63
01-jul-02	310	100	60	60	120	100	27-abr-05	164	81	49	30	79	56
01-ago-02	277	93	60	62	122	88	23-mai-05	178	89	50	42	91	72
05-ago-02	284	98	58	64	122	100	30-mai-05	117	86	48	42	89	69
02-set-02	301	103	60	68	128	92	29-jun-05	182	82	48	42	89	76
01-out-02	312	107	62	66	128	101	05-jul-05	180	86	20	63	83	75
01-nov-02	289	135	64	70	134	80	19-jul-05	196	87	58	38	95	64
19-nov-02	320	126	66	68	134	102	17-ago-05	181	82	64	48	112	49
02-dez-02	320	125	76	52	128	104	22-set-05	184	94	58	42	99	60

Legenda: SDT = sólidos dissolvidos totais; Alc. total = alcalinidade total; Ca = cálcio; Mg = magnésio.

\* sem registro de coleta de amostra para análise de qualidade na série original

## Anexo B - Balanço hídrico mensal do açude Eptácio Pessoa (PB)

Tabela B - Balanço hídrico mensal do açude Eptácio Pessoa (PB) referente aos anos (a) 1994 e (b) 1995.

(a) ANO 1994												
Mês	Volume Inicial (m³)	Volume final (m³)	Área* (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação (mm)	Climatologia** (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec no açude (m³)	Abastec (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
abr	-	268.200.000	27.292.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mai	268.200.000	265.500.000	27.130.000	0,1284	3.493.756	92,8	54,1	80,8	2.519.739	2.465.648	0	739.666
jun	265.500.000	296.898.165	14.844.908	0,1020	2.140.502	125,7	59,9	70,6	2.633.925	2.427.600	0	33.332.341
jul	296.898.165	292.426.163	14.621.308	0,1163	1.714.197	82,8	55,6	37,0	1.216.955	2.409.327	1.565.433	0
ago	292.426.163	282.794.160	14.139.708	0,1452	2.087.331	12,1	21,5	9,5	172.566	2.314.709	5.402.529	0
set	282.794.160	274.796.680	13.739.834	0,1642	2.289.607	55,4	13,1	9,2	772.263	2.092.058	4.388.078	0
out	274.796.680	263.863.138	13.193.157	0,1962	2.642.126	0,0	6,0	0,6	0	2.166.354	6.125.062	0
nov	263.863.138	251.836.241	12.591.812	0,2109	2.719.025	0,0	6,5	0,3	0	2.696.632	6.611.240	0
dez	251.836.241	239.262.668	11.963.133	0,2037	2.500.921	36,5	16,6	19,5	446.900	2.665.160	7.854.392	0

(b) ANO 1995												
Mês	Volume Inicial (m³)	Volume final (m³)	Área* (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação (mm)	Climatologia** (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec no açude (m³)	Abastec (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
jan	239.262.668	227.071.853	11.353.592	0,2049	2.388.857	0,0	31,0	25,8	0	2.757.904	7.044.054	0
fev	227.071.853	239.262.668	11.963.133	0,1563	1.822.377	58,4	55,4	94,6	680.848	2.325.978	0	15.658.322
mar	239.262.668	327.170.176	16.358.509	0,1584	2.243.570	42,7	168,7	126,3	603.251	2.426.144	0	91.973.971
abr	327.170.176	364.673.036	18.233.652	0,1612	2.788.561	37,1	106,8	85,8	641.685	2.340.267	0	41.990.003
mai	364.673.036	412.513.455	20.625.673	0,1284	2.494.671	21,1	54,1	91,3	409.966	2.465.648	0	52.390.773
jun	412.513.455	409.415.874	20.470.794	0,1020	2.095.706	45,5	59,9	22,3	932.890	2.427.600	0	492.835
jul	409.415.874	405.285.766	20.264.288	0,1163	2.369.763	74,0	55,6	36,8	1.492.941	2.409.327	843.959	0
ago	405.285.766	394.616.320	19.730.816	0,1452	2.902.645	6,3	21,5	2,2	125.985	2.314.709	5.578.077	0
set	394.616.320	382.225.995	19.111.300	0,1642	3.189.909	0,0	13,1	0,2	0	2.092.058	7.108.358	0
out	382.225.995	369.491.495	18.474.575	0,1962	3.687.174	0,0	6,0	0,0	0	2.166.354	6.880.972	0
nov	369.491.495	355.036.116	17.751.806	0,2109	3.820.072	12,8	6,5	41,4	231.849	2.696.632	8.170.524	0
dez	355.036.116	339.554.180	16.977.709	0,2037	3.537.201	0,0	16,6	1,3	0	2.665.160	9.279.575	0

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação.

\* área do espelho d'água ao final do mês

\*\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

\*\*\* referente ao posto pluviométrico próximo à torre de captação.

Observações: Estação chuvosa - janeiro a junho; Estação seca - julho a dezembro;

Foram adotados como volumes destinado a abastecimento os mesmos valores mensais do ano de 2003.

Tabela B (cont.) - Balanço hídrico mensal do açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (c)1996 e (d)1997.

(c) ANO 1996												
Mês	Volume Inicial (m³)	Volume final (m³)	Área (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação (mm)	Climatologia (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec. no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
jan	339.554.180	327.170.176	16.358.509	0,2049	3.415.379	2,4	31,0	22,5	38.337	2.757.904	6.249.058	0
fev	327.170.176	312.722.171	15.636.108	0,1563	2.500.619	22,2	55,4	18,1	353.541	2.325.978	9.974.948	0
mar	312.722.171	340.242.180	17.012.109	0,1584	2.586.310	57,8	168,7	132,3	940.269	2.426.144	0	31.592.195
abr	340.242.180	361.575.454	18.078.773	0,1612	2.828.764	113,1	106,8	146,0	1.977.371	2.340.267	0	24.524.934
mai	361.575.454	366.393.914	18.319.696	0,1284	2.336.691	13,1	54,1	45,1	236.590	2.465.648	0	9.384.209
jun	366.393.914	358.477.873	17.923.893	0,1020	1.848.234	53,0	59,9	20,1	955.019	2.427.600	4.595.225	0
jul	358.477.873	351.250.184	17.562.509	0,1163	2.064.421	49,6	55,6	26,7	872.965	2.409.327	3.626.906	0
ago	351.250.184	341.618.181	17.080.909	0,1452	2.514.246	31,8	21,5	20,2	547.366	2.314.709	5.350.414	0
set	341.618.181	329.922.177	16.496.109	0,1642	2.757.513	11,8	13,1	10,8	198.104	2.092.058	7.044.538	0
out	329.922.177	314.786.171	15.739.308	0,1962	3.162.294	7,4	6,0	4,2	119.271	2.166.354	9.926.629	0
nov	314.786.171	303.434.167	15.171.708	0,2109	3.259.566	41,4	6,5	15,1	636.767	2.696.632	6.032.573	0
dez	303.434.167	287.954.162	14.397.708	0,2037	3.011.645	0,3	16,6	3,1	2.957	2.665.160	9.806.157	0

(d) ANO 1997												
Mês	Volume Inicial (m³)	Volume final (m³)	Área (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação (mm)	Climatologia (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec. no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
jan	287.954.162	281.630.144	14.081.507	0,2049	2.917.767	121,0	31,0	56,6	1.721.569	2.757.904	2.369.916	0
fev	281.630.144	272.883.310	13.644.165	0,1563	2.166.969	49,5	55,4	21,0	677.893	2.325.978	4.931.779	0
mar	272.883.310	320.634.173	16.031.709	0,1584	2.350.849	149,1	168,7	147,3	2.210.853	2.426.144	0	50.317.003
abr	320.634.173	363.984.684	18.199.234	0,1612	2.759.442	97,4	106,8	62,4	1.660.201	2.340.267	0	46.790.019
mai	363.984.684	363.984.684	18.199.234	0,1284	2.336.691	61,1	54,1	84,6	1.106.513	2.465.648	0	3.695.825
jun	363.984.684	354.347.765	17.717.388	0,1020	1.831.561	23,4	59,9	12,0	414.837	2.427.600	5.792.595	0
jul	354.347.765	344.714.182	17.235.709	0,1163	2.033.396	42,3	55,6	25,7	735.763	2.409.327	5.926.622	0
ago	344.714.182	334.394.178	16.719.709	0,1452	2.464.315	24,8	21,5	22,8	419.349	2.314.709	5.960.330	0
set	334.394.178	320.290.173	16.014.509	0,1642	2.688.298	6,2	13,1	1,7	101.476	2.092.058	9.425.125	0
out	320.290.173	304.466.168	15.223.308	0,1962	3.064.430	0,0	6,0	2,9	0	2.166.354	10.593.221	0
nov	304.466.168	290.018.163	14.500.908	0,2109	3.134.418	0,0	6,5	5,8	0	2.696.632	8.616.955	0
dez	290.018.163	276.983.389	13.849.169	0,2037	2.887.455	23,6	16,6	28,5	333.113	2.665.160	7.815.272	0

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação.

\* área do espelho d'água ao final do mês

\*\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

\*\*\* referente ao posto pluviométrico próximo à torre de captação.

Observações: Estação chuvosa - janeiro a junho; Estação seca - julho a dezembro;  
Foram adotados como volumes destinado a abastecimento os mesmos valores mensais do ano de 2003.

Tabela B (cont.) - Balanço hídrico mensal do açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (e)1998 e (f)1999.

(e) ANO 1998												
Mes	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Área (m²)	Lâmina evaporada (mm)	Volume evaporado (m³)	Precipitação (mm)	Climatologia (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec. no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
jan	276.983.389	179.151.367	16.267.339	0,2049	3.085.512	16,8	31,0	29,9	251.473	2.757.904	92.240.079	0
fev	179.151.367	167.397.809	15.768.833	0,1563	2.503.867	0,0	55,4	3,1	0	2.325.978	6.923.713	0
mar	167.397.809	155.286.134	15.222.154	0,1584	2.455.029	19,9	168,7	29,8	306.811	2.426.144	7.537.313	0
abr	155.286.134	144.640.184	14.696.411	0,1612	2.411.811	5,0	106,8	35,5	74.796	2.340.267	5.968.669	0
mai	144.640.184	135.699.000	14.275.412	0,1284	1.859.919	11,5	54,1	8,7	166.588	2.465.648	4.782.205	0
jun	135.699.000	129.750.000	14.166.620	0,1020	1.450.396	7,0	59,9	8,4	96.703	2.459.920	2.135.387	0
jul	129.750.000	123.801.000	14.057.828	0,1163	1.641.957	33,8	55,6	16,4	475.582	2.790.430	1.992.195	0
ago	123.801.000	118.308.200	13.915.370	0,1452	2.030.155	34,6	21,5	23,8	482.538	2.669.029	1.276.154	0
set	118.308.200	113.932.499	15.754.440	0,1642	2.436.633	1,2	13,1	0,5	17.802	2.704.575	0	747.705
out	113.932.499	105.944.993	15.062.296	0,1962	3.023.122	0,6	6,0	0,4	7.704	2.584.932	2.387.156	0
nov	105.944.993	98.870.856	14.293.401	0,2109	3.095.558	0,0	6,5	0,5	0	2.151.764	1.826.815	0
dez	98.870.856	89.884.721	12.093.157	0,2037	2.687.471	3,1	16,6	0,7	40.899	2.096.137	4.243.426	0

(f) ANO 1999													
Mes	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Área (m²)	Lâmina evaporada (mm)	Volume evaporado (m³)	Precipitação (mm)	Climatologia (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec. no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)	Medição de entrada (m³)
jan	89.884.721	85.722.650	12.791.844	0,2049	2.549.531	20,1	31,0	20,4	247.606	2.111.413	0	251.266	0
fev	85.722.650	79.586.573	11.064.241	0,1563	1.864.532	33,0	55,4	16,0	392.433	1.822.759	2.841.218	0	145.152
mar	79.586.573	91.434.105	12.234.255	0,1584	1.845.649	50,2	168,7	88,9	583.627	2.252.115	0	15.361.668	16.338.240
abr	91.434.105	86.942.393	11.799.181	0,1612	1.937.396	13,3	106,8	4,0	158.621	1.851.299	861.638	0	129.600
mai	86.942.393	90.375.109	12.142.153	0,1284	1.536.974	38,3	54,1	75,2	458.477	1.851.557	0	6.362.770	8.008.416
jun	90.375.109	86.942.393	11.799.181	0,1020	1.220.883	25,4	59,9	16,2	301.661	1.831.420	682.073	0	414.720
jul	86.942.393	83.754.871	11.480.707	0,1163	1.354.307	46,1	55,6	42,6	534.273	1.684.560	682.928	0	857.088
ago	83.754.871	79.954.364	11.100.988	0,1452	1.638.867	5,3	21,5	2,2	57.583	1.540.437	678.787	0	0
set	79.954.364	75.872.984	10.701.808	0,1642	1.790.555	2,2	13,1	0,2	23.983	1.159.209	1.155.599	0	155.520
out	75.872.984	72.175.178	10.344.536	0,1962	2.064.646	15,0	6,0	13,3	155.743	1.260.694	528.209	0	133.920
nov	72.175.178	68.042.336	9.945.232	0,2109	2.139.556	0,0	6,5	3,8	0	1.312.283	681.003	0	0
dez	68.042.336	72.992.761	11.244.945	0,2037	2.158.220	16,4	16,6	53,5	171.640	1.386.104	0	8.323.108	8.088.768

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação.

\* área do espelho d'água ao final do mês

\*\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

\*\*\* referente ao posto pluviométrico próximo à torre de captação.

\*\*\*\* valor de medição de volume de entrada obtido por Diniz (2003)

Observações: Estação chuvosa - janeiro a junho; Estação seca - julho a dezembro;

Para os meses de janeiro a novembro de 1998, foram adotados como volumes destinado a abastecimento os mesmos valores mensais do ano de 2003.

Tabela B (cont.) - Balanço hídrico mensal do açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (g)2000 e (h)2001.

(g) ANO 2000													
Mês	VOLUME INICIAL (m³)	VOLUME FINAL (m³)	ÁREA* (m²)	LÂMINA EVAPORADA (m)	VOLUME EVAPORADO (m³)	PRECIPITAÇÃO** (mm)	CLIMATOLOGIA*** (mm)	PRECIPITAÇÃO NA BACIA (mm)	VOLUME PRECIPITADO NO AÇUDE (m³)	ABASTEC. (m³)	IRRIG. (m³)	VOLUME DE ENTRADA (m³)	MECÇÃO DE ENTRADA**** (m³)
jan	72.992.761	83.141.886	11.419.462	0,2049	2.322.025	45,7	31,0	83,4	515.615	1.274.870	0	13.230.405	14.865.120
fev	83.141.886	125.618.750	14.091.070	0,1563	1.993.840	53,7	55,4	134,4	682.407	1.136.970	0	44.925.267	49.109.760
mar	125.618.750	160.291.007	15.467.411	0,1584	2.341.549	7,6	168,7	96,9	112.322	1.269.072	0	38.170.555	34.363.872
abr	160.291.007	209.332.299	17.662.659	0,1612	2.670.698	76,6	106,8	116,6	1.267.225	1.437.870	0	51.882.635	38.905.920
mai	209.332.299	204.553.870	17.434.936	0,1284	2.253.178	45,3	54,1	31,3	786.186	1.819.134	1.492.304	0	2.544.480
jun	204.553.870	199.456.878	17.192.031	0,1020	1.765.795	63,5	59,9	39,6	1.092.481	2.674.308	1.749.369	0	1.918.080
jul	199.456.878	195.634.135	17.009.853	0,1163	1.989.694	76,9	55,6	38,2	1.311.642	2.672.981	471.710	0	2.839.104
ago	195.634.135	189.262.896	16.706.222	0,1452	2.446.944	51,3	21,5	40,7	858.074	2.682.264	2.100.105	0	1.928.448
set	189.262.896	183.251.446	16.441.236	0,1642	2.722.235	41,0	13,1	25,0	674.551	2.162.400	1.801.366	0	1.555.200
out	183.251.446	174.504.612	16.070.255	0,1962	3.189.377	1,4	6,0	1,3	22.758	2.186.559	3.393.656	0	0
nov	174.504.612	165.757.778	15.699.274	0,2109	3.350.097	2,4	6,5	2,8	36.535	1.810.617	3.622.655	0	0
dez	165.757.778	158.598.208	15.385.719	0,2037	3.166.007	55,6	16,6	65,8	857.946	2.602.955	2.248.554	0	669.600

(h) ANO 2001													
Mês	VOLUME INICIAL (m³)	VOLUME FINAL (m³)	ÁREA* (m²)	LÂMINA EVAPORADA (m)	VOLUME EVAPORADO (m³)	PRECIPITAÇÃO** (mm)	CLIMATOLOGIA*** (mm)	PRECIPITAÇÃO NA BACIA (mm)	VOLUME PRECIPITADO NO AÇUDE (m³)	ABASTEC. (m³)	IRRIG. (m³)	VOLUME DE ENTRADA (m³)	MECÇÃO DE ENTRADA**** (m³)
jan	158.598.208	150.791.177	15.000.174	0,2049	3.113.111	3,7	31,0	12,1	54.695	2.608.355	2.140.259	0	455.328
fev	150.791.177	143.220.724	14.626.312	0,1563	2.315.532	1,3	55,4	5,9	19.257	2.647.067	2.627.112	0	0
mar	143.220.724	167.944.486	15.792.019	0,1584	2.409.664	207,1	168,7	143,4	3.148.297	2.737.127	0	26.722.256	22.418.208
abr	167.944.486	165.211.101	15.676.088	0,1612	2.536.723	33,3	106,8	43,0	523.944	2.664.856	0	1.944.249	3.939.840
mai	165.211.101	157.178.748	15.315.620	0,1284	1.989.590	0,4	54,1	1,9	6.198	2.772.684	3.276.277	0	187.488
jun	157.178.748	153.630.098	15.140.372	0,1020	1.553.097	83,4	59,9	91,8	1.268.492	2.674.308	589.737	0	1.892.160
jul	153.630.098	149.135.141	14.918.392	0,1163	1.748.668	53,8	55,6	33,1	799.563	2.672.981	872.871	0	1.821.312
ago	149.135.141	143.220.724	14.626.312	0,1452	2.144.207	18,1	21,5	11,5	264.425	2.682.264	1.352.371	0	1.124.928
set	143.220.724	136.194.750	14.284.478	0,1642	2.374.299	20,8	13,1	11,0	299.227	2.162.400	2.788.502	0	803.520
out	136.194.750	131.402.500	14.196.840	0,1962	2.794.017	16,6	6,0	30,5	236.395	2.186.559	48.069	0	723.168
nov	131.402.500	125.784.000	14.094.092	0,2109	2.983.279	5,9	6,5	0,6	83.458	1.810.617	908.063	0	0
dez	125.784.000	120.000.250	13.988.322	0,2037	2.860.194	0,0	16,6	13,3	0	2.047.610	875.946	0	0

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação.

\* área do espelho d'água ao final do mês

\*\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

\*\*\* referente ao posto pluviométrico próximo à torre de captação.

\*\*\*\* valor de medição de volume de entrada obtido por Diniz (2003)

Observações: Estação chuvosa - janeiro a junho; Estação seca - julho a dezembro;

Para os meses de junho a novembro de 2000, foram adotados como volumes destinado a abastecimento os mesmos valores mensais do ano de 2001.

PROGRAMA DE ABASTECIMENTO

Tabela B (cont.) - Balanço hídrico mensal do açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (i)2002 e (j)2003.

(i) ANO 2002													
Mês	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Área* (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação** (mm)	Climatologia** (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume precipitado no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)	Medição de entrada*** (m³)
jan	120.000.250	171.497.888	15.942.730	0,2049	3.066.436	119,2	31,0	162,3	1.783.891	1.714.375	0	54.494.558	48.452.256
fev	171.497.888	180.791.399	16.336.897	0,1562	2.521.039	99,7	55,4	87,8	1.609.139	1.843.071	0	12.048.482	31.304.448
mar	180.791.399	209.650.861	17.677.840	0,1612	2.741.588	43,9	168,7	86,2	746.623	2.081.691	0	32.936.118	4.847.904
abr	209.650.861	205.190.994	17.465.299	0,1719	3.020.553	2,0	106,8	38,0	35.143	2.064.320	0	589.863	3.939.840
mai	205.190.994	203.916.746	17.404.573	0,1249	2.177.623	96,0	54,1	80,8	1.673.754	2.369.886	0	1.599.508	5.517.504
jun	203.916.746	200.094.002	17.222.394	0,0936	1.620.542	61,0	59,9	49,8	1.056.122	2.091.377	1.166.947	0	2.099.520
jul	200.094.002	193.404.201	16.903.582	0,1190	2.030.495	41,0	55,6	20,3	699.583	2.334.730	3.024.158	0	1.633.824
ago	193.404.201	185.438.154	16.533.981	0,1479	2.472.708	13,3	21,5	5,7	222.360	2.390.069	3.325.630	0	991.008
set	185.438.154	176.964.659	16.174.593	0,1773	2.899.615	1,2	13,1	0,4	19.625	2.451.618	3.141.887	0	207.360
out	176.964.659	167.671.148	15.780.426	0,1962	3.134.787	6,5	6,0	1,8	103.854	2.585.500	3.677.077	0	0
nov	167.671.148	158.125.055	15.362.353	0,2109	3.284.006	8,7	6,5	3,8	135.471	2.879.211	3.518.347	0	233.280
dez	158.125.055	150.081.447	14.965.124	0,2037	3.088.854	1,8	16,6	19,9	27.295	2.836.226	2.145.822	0	241.056

(j) ANO 2003													
Mês	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Área* (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação** (mm)	Climatologia** (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume precipitado no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)	Medição de entrada**** (m³)
jan	150.081.447	142.037.840	14.567.896	0,2049	3.025.806	20,1	31,0	55,9	296.807	2.757.904	2.556.704	0	267.840
fev	142.037.840	143.227.345	18.060.764	0,1564	2.552.051	53,1	55,4	43,9	866.291	2.325.978	0	5.201.243	4.451.328
mar	143.227.345	147.496.360	18.409.369	0,1557	2.838.653	61,6	168,7	90,6	1.123.280	2.426.144	0	8.410.532	10.044.000
abr	147.496.360	148.981.235	18.530.623	0,1506	2.780.658	90,0	106,8	53,6	1.662.300	2.340.267	0	4.943.500	6.557.760
mai	148.981.235	145.083.439	18.212.331	0,1319	2.423.014	32,2	54,1	43,1	591.562	2.465.648	0	399.304	1.874.880
jun	145.083.439	141.556.861	17.924.353	0,1104	1.994.369	62,7	59,9	29,6	1.132.885	2.427.600	237.494	0	-
jul	141.556.861	136.826.331	17.556.560	0,1137	2.017.090	7,2	55,6	7,7	127.731	2.409.327	431.844	0	-
ago	136.826.331	131.872.437	17.180.264	0,1424	2.473.262	22,0	21,5	15,7	382.105	2.314.709	548.028	0	-
set	131.872.437	126.918.543	16.803.969	0,1512	2.569.208	11,9	13,1	7,0	202.206	2.092.058	494.834	0	-
out	126.918.543	120.765.044	16.321.049	0,1962	3.249.564	11,0	6,0	0,9	182.188	2.166.354	919.769	0	-
nov	120.765.044	114.726.981	15.820.325	0,2109	3.389.308	4,6	6,5	3,4	73.925	2.696.632	26.048	0	-
dez	114.726.981	108.371.125	15.293.246	0,2037	3.168.917	2,0	16,6	2,8	31.114	2.665.160	552.892	0	-

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação.

\* área do espelho d'água ao final do mês

\*\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

\*\*\* referente ao posto pluviométrico próximo à torre de captação.

\*\*\*\* valor de medição de volume de entrada obtido por Diniz (2003)

Observação: Estação chuvosa - janeiro a junho; Estação seca - julho a dezembro.

Tabela B (cont.) - Balanço hídrico mensal do açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (l)2004 e (m)2005.

(l) ANO 2004												
Mês	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Área* (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação** (mm)	Climatologia** (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec. no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
jan	108.371.125	397.258.175	38.063.367	0,2049	5.466.518	391,7	31,0	342,7	10.449.893	2.360.211	0	286.263.887
fev	397.258.175	411.686.287	39.623.321	0,1563	6.071.798	99,1	55,4	130,7	3.849.375	2.272.039	0	18.922.573
mar	411.686.287	411.686.287	39.623.321	0,1584	6.277.721	27,1	168,7	44,2	1.073.792	2.414.987	0	7.618.916
abr	411.686.287	411.686.287	39.623.321	0,1612	6.388.270	103,2	106,8	34,5	4.089.127	2.356.481	0	4.655.625
mai	411.686.287	410.121.078	39.453.324	0,1284	5.076.523	74,0	54,1	45,6	2.925.836	2.536.073	0	3.121.551
jun	410.121.078	406.990.659	39.113.328	0,1020	4.006.490	81,8	59,9	59,3	3.213.376	2.397.762	0	60.457
jul	406.990.659	408.164.566	39.240.827	0,1163	4.558.253	84,4	55,6	58,8	3.306.545	2.472.346	0	4.897.960
ago	408.164.566	400.338.519	38.390.838	0,1452	5.634.118	13,8	21,5	12,8	535.658	2.462.347	265.240	0
set	400.338.519	392.130.466	37.556.044	0,1642	6.237.138	6,4	13,1	4,9	243.030	2.235.359	0	21.413
out	392.130.466	381.508.784	36.505.161	0,1962	7.265.404	0,3	6,0	0,3	11.109	2.312.804	1.054.583	0
nov	381.508.784	372.190.034	35.886.265	0,2109	7.633.675	0,8	6,5	0,8	28.957	2.462.153	0	748.122
dez	372.190.034	361.584.845	35.405.286	0,2037	7.261.044	0,6	16,6	14,4	21.387	2.516.332	849.200	0
(m) ANO 2005												
Mês	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Área* (m²)	Lâmina evaporada (m)	Volume evaporado (m³)	Precipitação** (mm)	Climatologia** (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume prec. no açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Volume de entrada (m³)
jan	361.584.845	370.422.502	35.806.102	0,2049	7.295.785	32,4	31,0	58,8	1.153.624	2.360.211	0	17.340.029
fev	370.422.502	364.059.389	35.517.515	0,1563	5.574.476	13,3	55,4	33,9	474.302	2.272.039	0	1.009.100
mar	364.059.389	411.686.287	39.623.321	0,1584	5.952.469	121,8	168,7	173,0	4.576.077	2.414.987	0	51.418.278
abr	411.686.287	411.686.287	39.623.321	0,1612	6.388.270	24,0	106,8	43,8	950.960	2.356.481	0	7.793.792
mai	411.686.287	411.686.287	39.623.321	0,1284	5.087.436	44,8	54,1	59,9	1.775.125	2.536.073	0	5.848.384
jun	411.686.287	411.686.287	39.623.321	0,1020	4.041.166	125,2	59,9	93,4	4.960.840	2.397.762	0	1.478.088
jul	411.686.287	411.686.287	39.623.321	0,1163	4.610.173	34,8	55,6	15,5	1.378.892	2.472.346	0	5.703.627
ago	411.686.287	408.208.054	39.028.329	0,1452	5.708.144	44,2	21,5	28,0	1.738.201	2.462.347	0	954.057

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação.

\* área do espelho d'água ao final do mês

\*\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

\*\*\* referente ao posto pluviométrico próximo à torre de captação.

Observações: Estação chuvosa - janeiro a junho; Estação seca - julho a dezembro;  
Foram adotados como volumes destinados a abastecimento a média dos valores mensais dos anos de 2001, 2002 e 2003.

Tabela C - Balanço de massa sazonal para o açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (a)2000 e (b)2001.

<b>(a) ANO 2000</b>												
Estação	Volume inicial (m <sup>3</sup> )	Volume final (m <sup>3</sup> )	Volume evaporado (m <sup>3</sup> )	Volume prec. no açude (m <sup>3</sup> )	Abastec. (m <sup>3</sup> )	Irrig. (m <sup>3</sup> )	Precipitação (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume de entrada (m <sup>3</sup> )			
chuvosa	72.992.761	199.456.878	13.347.085	4.456.236	9.612.224	3.241.673	292	502	148.208.863			
seca	199.456.878	158.598.208	16.864.354	3.761.506	14.117.776	13.638.046	229	174	0			
Estação	SDT início (mg/l)	SDT fim (mg/l)	Alc. total início (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Alc. total fim (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Ca início (mg/l)	Ca fim (mg/l)	Mg início (mg/l)	Mg fim (mg/l)	Dureza início (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Dureza fim (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Cl início (mg/l)	Cl fim (mg/l)
chuvosa	735	440	163	140	138	68	160	82	298	146	330	131
seca	440	396	140	97	68	68	82	60	146	144	131	131
<b>Concentração de Entrada</b>												
Estação	SDT (mg/l)	Alc. total (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Cl (mg/l)						
chuvosa	281	121	32	42	69	34						
seca	0	0	0	0	0	0						
<b>(b) ANO 2001</b>												
Estação	Volume inicial (m <sup>3</sup> )	Volume final (m <sup>3</sup> )	Volume evaporado (m <sup>3</sup> )	Volume prec. no açude (m <sup>3</sup> )	Abastec. (m <sup>3</sup> )	Irrig. (m <sup>3</sup> )	Precipitação (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume de entrada (m <sup>3</sup> )			
chuvosa	158.598.208	153.630.098	13.917.717	5.020.884	16.104.397	8.633.385	329	298	28.666.506			
seca	153.630.098	120.000.250	14.904.664	1.683.068	13.562.431	6.845.821	115	100	0			
Estação	SDT início (mg/l)	SDT fim (mg/l)	Alc. total início (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Alc. total fim (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Ca início (mg/l)	Ca fim (mg/l)	Mg início (mg/l)	Mg fim (mg/l)	Dureza início (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Dureza fim (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Cl início (mg/l)	Cl fim (mg/l)
chuvosa	396	406	97	105	68	68	60	76	144	154	131	125
seca	406	395	105	105	68	86	76	82	154	168	125	140
<b>Concentração de Entrada</b>												
Estação	SDT (mg/l)	Alc. total (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Cl (mg/l)						
chuvosa	331	113	47	134	157	56						
seca	0	0	0	0	0	0						

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação; SDT = sólidos dissolvidos totais; Alc. total = alcalinidade total; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Cl = cloreto.

\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

Tabela C (cont.) - Balanço de massa sazonal para o açude Epitácio Pessoa (PB) referente aos anos (c)2002 e (d)2003.

<b>(c) ANO 2002</b>												
Estação	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Volume evaporado (m³)	Volume precipitado açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Precipitação (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume de entrada (m³)			
chuvosa	120.000.250	200.094.002	15.147.783	6.904.673	12.164.720	1.166.947	422	505	101.668.529			
seca	200.094.002	150.081.447	16.910.465	1.208.187	15.477.354	18.832.923	73	52	0			
Estação	SDT início (mg/l)	SDT fim (mg/l)	Alc. total início (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Alc. total fim (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca início (mg/l)	Ca fim (mg/l)	Mg início (mg/l)	Mg fim (mg/l)	Dureza início (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Dureza fim (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cl início (mg/l)	Cl fim (mg/l)
chuvosa	395	310	105	100	86	60	82	60	168	120	140	100
seca	310	311	100	129	60	66	60	64	120	130	100	105
<b>Concentração de Entrada</b>												
Estação	SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cl (mg/l)						
chuvosa	190	86	26	31	57	47						
seca	0	0	0	0	0	0						
<b>(d) ANO 2003</b>												
Estação	Volume inicial (m³)	Volume final (m³)	Volume evaporado (m³)	Volume precipitado açude (m³)	Abastec. (m³)	Irrig. (m³)	Precipitação (mm)	Precipitação na bacia (mm)	Volume de entrada (m³)			
chuvosa	150.081.447	141.556.861	15.614.550	5.673.124	14.743.541	2.794.199	320	317	18.954.579			
seca	141.556.861	108.371.125	16.867.349	999.269	14.344.240	2.973.416	59	37	0			
Estação	SDT início (mg/l)	SDT fim (mg/l)	Alc. total início (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Alc. total fim (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca início (mg/l)	Ca fim (mg/l)	Mg início (mg/l)	Mg fim (mg/l)	Dureza início (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Dureza fim (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cl início (mg/l)	Cl fim (mg/l)
chuvosa	322	377	113	113	64	66	70	84	134	150	106	114
seca	377	380	113	123	66	75	84	82	150	157	114	137
<b>Concentração de Entrada</b>												
Estação	SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cl (mg/l)						
chuvosa	589	54	46	144	191	114						
seca	0	0	0	0	0	0						

Legenda: prec. = precipitado; Abastec. = volume retirado pela CAGEPA para abastecimento; Irrig. = volume estimado para irrigação; SDT = sólidos dissolvidos totais; Alc. total = alcalinidade total; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Cl = cloreto.

\* precipitação medida no posto pluviométrico próximo à torre de captação (representa a lâmina precipitada no reservatório)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

## Anexo D – Resultados da aplicação do modelo ao açude Epitácio Pessoa (PB)

Tabela D - Resultados da aplicação do modelo de previsão da qualidade de água ao açude Epitácio Pessoa (PB).

Mês	Valor DAP	Valor MPP	Valor DID	Comportamento esperado	Porcentagem	Valores Previstos					
						SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cloreto (mg/l)
ago/98	4	B	10	ABE	20%	817	173	149	154	302	336
set/98	4	B	10	ABE	20%	791	149	135	152	287	305
out/98	4	B	10	ABE	20%	702	153	128	169	297	303
nov/98	4	B	10	ABE	20%	802	153	135	161	296	315
dez/98	4	B	10	ABE	20%	762	171	143	163	306	341
jan/99	4	B	10	AM	5%	685	158	134	139	273	297
fev/99	4	B	10	AM	5%	722	167	135	142	277	317
mar/99	4	B	10	AM	5%	707	167	145	140	285	347
abr/99	4	B	10	AM	5%	795	186	150	146	296	360
mai/99	4	B	10	AM	5%	812	174	153	155	308	398
jun/99	4	B	10	AM	5%	769	174	150	156	306	420
jul/99	4	M	7	AS	3%	757	153	138	146	284	340
ago/99	4	B	10	ABE	20%	859	174	140	176	316	378
set/99	4	B	10	ABE	20%	880	194	156	170	326	400
out/99	4	B	10	ABE	20%	840	181	160	161	320	360
nov/99	4	B	10	ABE	20%	840	180	156	165	322	354
dez/99	4	A	4	RM	-10%	639	147	121	121	241	293
jan/00	4	A	4	RE	-25%	533	127	101	101	202	242
fev/00	4	A	4	RE	-25%	533	119	101	106	207	243
mar/00	4	M	7	RE	-25%	542	121	103	116	219	244
abr/00	4	M	7	RE	-25%	535	107	94	108	205	231
mai/00	4	B	10	AM	5%	690	134	110	139	248	275
jun/00	4	M	7	RE	-25%	372	91	62	74	135	145
jul/00	4	B	10	ABE	20%	500	136	94	97	191	187
ago/00	4	M	7	AS	3%	376	115	70	71	148	142
set/00	4	M	7	AS	3%	371	112	70	74	142	135
out/00	4	A	4	RM	-10%	396	126	61	74	131	118
nov/00	4	M	7	AS	3%	350	92	70	76	144	132
dez/00	4	A	4	RM	-10%	315	80	61	65	128	113
jan/01	4	A	4	RE	-25%	268	70	51	50	101	94
fev/01	4	M	7	RE	-25%	266	69	51	54	105	94
mar/01	4	B	10	AM	5%	373	100	71	88	160	132
abr/01	4	B	10	AM	5%	416	102	71	63	151	138
mai/01	4	B	10	AM	5%	434	121	71	61	160	140
jun/01	4	B	10	AM	5%	438	113	71	111	174	140
jul/01	4	B	10	ABE	20%	512	128	82	82	173	158
ago/01	4	M	7	AS	3%	379	106	70	80	159	146
set/01	4	B	10	ABE	20%	511	118	82	77	168	160
out/01*	4	A	4	RM	-10%	-	-	-	-	-	-
nov/01	4	A	4	RM	-10%	365	95	61	68	139	113
dez/01	4	A	1	RM	-10%	374	97	61	86	140	117

Legenda: DAP = índice de diagnóstico de atividades e proteção, adotado igual a 4 para o período estudado; MPP = índice de montante de precipitação prevista; DID = índice de diagnóstico de impacto pela drenagem; ABE = aumento bastante elevando; AM = aumento médio; AS = aumento suave; RM = redução média; RE = redução elevada; SDT = sólidos dissolvidos totais; Alc. total = alcalinidade total; Ca = cálcio; Mg = magnésio.

\* sem registro de coleta de amostra para análise de qualidade na série original

Tabela D (cont.) - Resultados da aplicação do modelo de previsão da qualidade de água ao açude Epitácio Pessoa (PB).

Mês	Valor DAP	Valor MPP	Valor DID	Comportamento esperado	Porcentagem	Valores Previstos					
						SDT (mg/l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Cloreto (mg/l)
jan/02	4	A	1	RBE	-50%	205	56	34	32	71	65
fev/02	4	A	1	RBE	-50%	210	54	51	49	100	70
mar/02	4	A	1	RBE	-50%	212	53	53	70	123	73
abr/02	4	B	7	AS	3%	407	108	89	84	173	144
mai/02	4	B	7	AS	3%	363	89	64	70	134	99
jun/02	4	M	4	RE	-25%	259	62	48	47	95	71
jul/02	4	M	4	NV	0%	326	87	60	62	122	98
ago/02	4	B	7	AE	10%	358	101	70	68	139	110
set/02	4	B	7	AE	10%	344	114	66	73	139	110
out/02	4	B	10	ABE	20%	372	120	72	72	144	120
nov/02	4	B	10	ABE	20%	337	115	71	76	146	113
dez/02	4	M	7	AS	3%	310	106	62	70	132	95
jan/03	4	A	4	RE	-25%	234	80	47	50	96	76
fev/03	4	M	7	RE	-25%	228	98	49	52	101	88
mar/03*	4	B	10	AM	5%	-	134	72	64	135	109
abr/03	4	B	10	AM	5%	333	119	67	74	141	111
mai/03	4	B	10	AM	5%	338	119	71	78	149	116
jun/03	4	B	10	AM	5%	342	148	69	74	143	120
jul/03	4	B	10	ABE	20%	462	137	86	82	168	138
ago/03	4	B	10	ABE	20%	414	137	79	86	166	136
set/03	4	B	10	ABE	20%	433	130	74	91	166	134
out/03	4	B	10	ABE	20%	452	136	79	101	180	137
nov/03	4	B	10	ABE	20%	390	137	82	85	167	142
dez/03	4	B	10	ABE	20%	410	133	77	83	167	135
jan/04	4	A	4	RE	-25%	265	92	50	53	102	86
fev/04	4	A	4	RE	-25%	274	92	50	56	105	91
mar/04	4	A	1	RBE	-50%	178	62	35	33	68	63
abr/04	4	B	7	AS	3%	318	101	64	64	128	113
mai/04	4	B	7	AS	3%	110	57	34	27	61	43
jun/04	4	B	7	AS	3%	138	59	38	36	75	50
jul/04	4	M	4	NV	0%	145	61	37	37	75	55
ago/04	4	M	4	NV	0%	154	70	41	29	71	57
set/04	4	M	4	NV	0%	164	68	46	45	90	60
out/04	4	B	7	AE	10%	182	77	52	40	93	72
nov/04	4	B	7	AE	10%	185	80	56	44	100	69
dez/04	4	B	10	ABE	20%	203	92	64	46	109	74
jan/05	4	A	4	RE	-25%	128	59	58	17	40	52
fev/05	4	M	7	RE	-25%	136	62	38	34	71	50
mar/05	4	M	7	RE	-25%	139	62	40	35	76	54
abr/05	4	M	4	RE	-25%	148	65	38	37	75	52
mai/05	4	M	4	RE	-25%	149	69	42	29	71	53
jun/05	4	M	1	RE	-25%	151	84	41	31	73	47
jul/05	4	M	1	NV	0%	164	81	49	30	79	56
ago/05	4	M	1	NV	0%	148	88	49	42	90	70

Legenda: DAP = índice de diagnóstico de atividades e proteção, adotado igual a 4 para o período estudado; MP = índice de montante de precipitação prevista; DID = índice de diagnóstico de impacto pela drenagem; ABE = aumento bastante elevando; AE = aumento elevado; AM = aumento médio; AS = aumento suave; NV = nenhuma variação; RE = redução elevada; RBE = redução bastante elevada; SDT = sólidos dissolvidos totais; Alc. total = alcalinidade total; Ca = cálcio; Mg = magnésio.

\* sem registro de valores de SDT na série original