

**ANA EMÍLIA DUARTE BARBOSA PAIVA**

**SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS NA BACIA DO RIO GRAMAME COMO SUBSÍDIO  
AO PROCESSO DE OUTORGA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2001**

ANA EMÍLIA DUARTE BARBOSA PAIVA

SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS NA BACIA DO RIO GRAMAME COMO SUBSÍDIO  
AO PROCESSO DE OUTORGA

ALAIN MARIE BERNARD PASSERAT DE SILANS

CAMPINA GRANDE - PB  
2001



P149s Paiva, Ana Emília Duarte Barbosa.  
Simulações hidrológicas na Bacia do Rio Gramame como subsídio ao processo de outorga / Ana Emília Duarte Barbosa Paiva. - Campina Grande, 2001.  
136 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001.  
"Orientação : Prof. Dr. Alain Marie Bernard Passerat de Silans".  
Referências.

1. Bacias Hidrográficas - Rio Gramame (PB). 2. Simulações Hidrológicas - Sistema Hídrico. 3. Outorga - Processo. 4. Engenharia Civil - Dissertação. I. Silans, Alain Marie Bernard Passerat de. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). III. Título

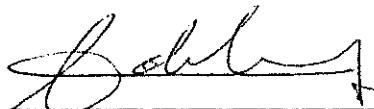
CDU 624:551.51(813.3)(043)

ANA EMÍLIA DUARTE BARBOSA PAIVA

SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS NA BACIA DO RIO GRAMAME COMO SUBSÍDIO  
AO PROCESSO DE OUTORGA

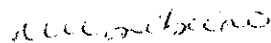
Aprovado em 30/08/2001

COMISSÃO EXAMINADORA



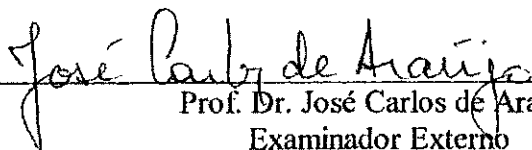
---

Prof. Dr. Alain Marie Bernard Passerat de Silans  
Orientador



---

Prof. Dr.ª Márcia Maria Rios Ribeiro  
Examinador Interno



---

Prof. Dr. José Carlos de Araújo  
Examinador Externo

*Aos meus três guias:  
DEUS,  
Sônia e Hugo, meus pais.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Alain M. B. Passerat de Silans pela orientação e estímulo, aguçando cada vez mais a minha ânsia pelo saber e me levando a trilhar novos horizontes.

Desejo agradecer a Associação para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia, SCIENTEC, que através do convênio com a Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, SEMARH, me concedeu a oportunidade de participar do desenvolvimento do estudo "*Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame*", no âmbito do qual desenvolvi esta dissertação.

Aos amigos da SCIENTEC pelo companheirismo, contribuições e sugestões prestadas durante a realização deste trabalho, em especial, Ana Carolina Câmara, Adriano Paz, Rodrigo Souto, Agenor Nunes, Maurício Alencar e Viviane Vasconcelos. Assim como aos professores Tarciso Cabral, Laudelino Pedrosa, Hamilcar Filgueiras, Carmem Gadelha, Luís Simão e José Bezerra.

Aos professores e funcionários da UFPB, em especial, Márcia Ribeiro, Carlos Galvão, Aurezinha, Raul, Vera, D. Alzira, Valdomiro e Josete.

Aos amigos da UFPB também presentes nesta caminhada.

Aos meus irmãos e familiares pelo incentivo e valioso apoio no momento de escolher este caminho.

Aos meus sobrinhos que me levaram a acreditar e lutar por um mundo melhor.

Finalmente, um agradecimento especial a Fabiano pelo carinho e dedicação com que me acompanhou durante todo o período deste curso.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ANEXOS

RESUMO

1 – INTRODUÇÃO	12
1.1 – A Água e o Desenvolvimento Sustentável	12
1.2 - Necessidade da Gestão dos Recursos Hídricos	14
1.3 - Outorga de Direito de Uso da Água	16
1.4 - Bacia do Rio Gramame	18
1.5 - Objetivos e Estrutura do Texto	19
2 - ÁREA DE ESTUDO	20
2.1 – Localização e Características Fisiográficas	20
2.2 - Características Pedológicas, Geológicas e de Cobertura Vegetal	22
2.3 - Características Climáticas	26
2.4 - Informações Pluviométricas Disponíveis	28
2.5 - Informações Fluviométricas Disponíveis	30
2.6 - Principais Reservatórios	35
2.7 - Projeção Populacional	37
2.7.1 - Projeção das Populações Urbana e Rural	40
2.7.2 - Síntese das Projeções Populacionais	44
2.8 - Projeção das Demandas Hídricas	46
2.8.1 - Abastecimento Humano	46
2.8.2 - Abastecimento Industrial	48
2.8.3 - Irrigação	48
2.8.4 - Dessedentação de Animais	50
3 – DISCRETIZAÇÃO DA BACIA E DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE CÁLCULO	51
4 – AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS NATURAIS	56
4.1 - Introdução	56
4.2 - Geração Sintética de Séries Pseudo-Históricas de Vazão Utilizando	

Modelo de Transformação Chuva-Vazão	57
4.2.1 - Explicação Global dos Modelos Hidrológicos	57
4.2.2 - O Modelo AÇUMOD	68
4.2.2.1 - Descrição do Modelo	68
4.2.2.2 - Aplicações Anteriores do AÇUMOD	80
4.2.3 - Aplicação do AÇUMOD à Bacia Hidrográfica do Rio Gramame	82
4.2.3.1 - Calibração e Validação do Modelo AÇUMOD	86
4.2.3.1.1 - Resultados da Calibração e Validação do Modelo	88
4.2.4 - Geração de Séries Pseudo-Históricas de Vazões Naturais	99
4.3 - Geração Sintética de Séries Longas de Vazão por Modelo Estocástico	99
4.3.1 - Geração Estocástica de Séries Longas de Vazões Mensais	99
4.3.1.1 - Resultados da Geração Estocástica de Vazões Mensais	100
4.4 - Determinação das Vazões de Referência e Vazões Regularizáveis pelos Açudes	101
5 - SIMULAÇÕES DO SISTEMA HÍDRICO DA ÁREA DE ESTUDO	106
5.1 - Priorização dos Usos e das Demandas e Descrição dos Cenários	106
5.2 - Confronto entre Disponibilidades Naturais e Demandas	110
5.2.1 - Quantificação das Demandas e da Oferta	110
5.2.2 - Modelos de Rede de Fluxo	112
5.2.3 - Descrição do Modelo MODSIMP32	114
5.2.4 - Aplicação do MODSIMP32 à Bacia do Rio Gramame	116
5.2.5 - Resultados	118
5.2.6 - Análise dos Resultados	118
5.2.6.1 - Análise dos Cenários Com Relação ao Diagnóstico da Situação dos Recursos Hídricos	119
5.2.6.2 - Análise dos Cenários Considerando o Critério de Outorga Estabelecido pela Legislação Estadual	121
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	124
ABSTRACT	127
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
8 - ANEXOS	137



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame	21
Figura 2.2 – Mapa geológico da bacia do rio Gramame	24
Figura 2.3 – Mapa pedológico da bacia do rio Gramame	25
Figura 2.4 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio do Gramame	27
Figura 2.5 – Localização dos postos fluviométricos da bacia do rio Gramame	32
Figura 2.6 – Hidrograma do rio Mumbaba	33
Figura 2.7 – Hidrograma do rio Mamuaba	34
Figura 2.8 – Hidrograma do rio Gramame	36
Figura 2.9 – Hidrografia, Divisão Política e Rodovias	38
Figura 3.1 – Localização dos Pontos de Cálculo da bacia do rio Gramame	55
Figura 4.1 – Conjunto de reservatório que simulam o ciclo hidrológico	69
Figura 4.2 – Discretização da quadricula	71
Figura 4.3 – Sentidos de drenagem	72
Figura 4.4 – Traçado das zonas hidrológicas homogêneas	73
Figura 4.5 – Descrição da função de produção ÁGUA	75
Figura 4.6 – Repartição da quantidade ÁGUA	77
Figura 4.7 – Zonas isócronas	78
Figura 4.8 - Bacia do rio Gramame discretizada	84
Figura 4.9 – Área de influência de cada posto pluviométrico na bacia – Método de Thiessen	85
Figura 4.10 – Zonas Hidrológicas Homogêneas da bacia do rio Gramame	87
Figura 4.11 – Calibração Mumbaba (1972-1974)	91
Figura 4.12 – Calibração Mamuaba (1972-1974)	92
Figura 4.13 – Validação Mumbaba (1975-1977)	93
Figura 4.14 – Validação Mumbaba (1975-1977)	94
Figura 5.1 – Estrutura da demanda na bacia do rio Gramame	111
Figura 5.2 – Evolução da estrutura da demanda	111
Figura 5.3 – Evolução da demanda na bacia do rio Gramame	111
Figura 5.4 – Apresentação dos cenários no MODSIMP32	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros fisiográficos da bacia do rio Gramame e de suas sub-bacias	23
Tabela 2.2 – Ocupação e uso do solo em 1998	26
Tabela 2.3 - Dados climáticos médios medidos na estação climatológica da cidade de João Pessoa	29
Tabela 2.4 – Evapotranspiração potencial média diária segundo G. H. Hargreaves (mm)	29
Tabela 2.5 – Evaporação média mensal do tanque classe “A” medida na ETA de Marés (mm) – 1972/1983	30
Tabela 2.6 - Postos operados pela CAGEPA na bacia do Rio Gramame	30
Tabela 2.7 - Postos pluviométricos administrados pela Sudene	30
Tabela 2.8 – Postos fluviométricos na bacia hidrográfica do rio Gramame	31
Tabela 2.9 – Municípios componentes da bacia do rio Gramame	37
Tabela 2.10 – Dados censitários do IBGE por municípios	39
Tabela 2.11 – População total dos municípios inseridos e beneficiados pela bacia, para todos os anos horizontes definidos, segundo o IBGE	40
Tabela 2.12 – População urbana a ser atendida pela bacia nos horizontes de projeto	44
Tabela 2.13 – População rural dos municípios por sub-bacias	45
Tabela 2.14 – Demandas hídricas para o abastecimento da população urbana nos horizontes de projeto	47
Tabela 2.15 – Demandas hídricas para o abastecimento da população rural nos horizontes de projeto	47
Tabela 2.16 – Demandas hídricas para irrigação na bacia do rio Gramame	49
Tabela 3.1 – Identificação dos pontos de cálculo	53
Tabela 3.2 – Sub-divisão dos pontos de cálculo considerando prioridades	54
Tabela 4.1 – Postos Pluviométricos utilizados para o cálculo da precipitação média no AÇUMOD	86
Tabela 4.2 – Parâmetros do modelo AÇUMOD	90
Tabela 4.3 – Indicadores de qualidade da calibração	90
Tabela 4.4 – Indicadores de qualidade da validação	95

Tabela 4.5 – Parâmetros do modelo AÇUMOD com calibração no período 1975 – 1977	95
Tabela 4.6– Indicadores de qualidade da calibração no período 1975-1977	96
Tabela 4.7 – Indicadores de qualidade da validação no período 1972-1974	96
Tabela 4.8 – Vazões observadas e calculadas no posto fluviométrico Mumbaba	97
Tabela 4.9 – Vazões observadas e calculadas no posto fluviométrico Mamuaba	98
Tabela 4.10 – Comparação entre as médias, desvios, máximos e mínimos dos valores de vazão gerados pelo AÇUMOD com os valores calculados com o modelo de Thomas-Fiering	102
Tabela 4.11 - Vazões de referência	105
Tabela 4.12 – Vazões regularizáveis (m <sup>3</sup> /s)	104
Tabela 5.1 – Identificação dos cenários 1 a 4	108
Tabela 5.2 – Identificação dos cenários 5 a 8	108
Tabela 5.3 – Regras de prioridades	108
Tabela 5.4 – Identificação dos cenários 9 a 12	109
Tabela 5.5 - Identificação do cenário 14	109
Tabela 5.6 - Identificação do cenário 15	109
Tabela 5.7 - Identificação do cenário 16	110
Tabela 5.8 – Critérios de avaliação do balanço hídrico	118
Tabela 5.9 – Comparação entre as falhas de atendimento às demandas, nos PC's da bacia do rio Gramame, para diferentes critérios de outorga	122

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A.1 – Demandas para irrigação – Sub-bacia do rio Gramame	138
Anexo A.2 – Demandas para irrigação – Sub-bacia do rio Mamuaba	141
Anexo A.3 – Demandas para irrigação – Sub-bacia do rio Mumbaba	142
Anexo A.4 – Demandas para irrigação – Sub-bacia do rio Água Boa	144
Anexo B.1 – Resultado da Simulação – Cenário 1	145
Anexo B.2 – Resultado da Simulação – Cenário 2	145
Anexo B.3 – Resultado da Simulação – Cenário 3	145
Anexo B.4 – Resultado da Simulação – Cenário 4	145
Anexo B.5 – Resultado da Simulação – Cenário 5A	145
Anexo B.6 – Resultado da Simulação – Cenário 5B	146
Anexo B.7 – Resultado da Simulação – Cenário 6A	146
Anexo B.8 – Resultado da Simulação – Cenário 6B	146
Anexo B.9 – Resultado da Simulação – Cenário 7A	146
Anexo B.10 – Resultado da Simulação – Cenário 7B	146
Anexo B.11 – Resultado da Simulação – Cenário 8A	147
Anexo B.12 – Resultado da Simulação – Cenário 8B	147
Anexo B.13 – Resultado da Simulação – Cenário 9A	147
Anexo B.14 – Resultado da Simulação – Cenário 9B	147
Anexo B.15 – Resultado da Simulação – Cenário 10A	147
Anexo B.16 – Resultado da Simulação – Cenário 10B	148
Anexo B.17 – Resultado da Simulação – Cenário 11A	148
Anexo B.18 – Resultado da Simulação – Cenário 11B	148
Anexo B.19 – Resultado da Simulação – Cenário 12A	148
Anexo B.20 – Resultado da Simulação – Cenário 14	148
Anexo B.21 – Resultado da Simulação – Cenário 15	149
Anexo B.22 – Resultado da Simulação – Cenário 16	149
Anexo C.1 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenários 1 e 2	150
Anexo C.2 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 3	151
Anexo C.3 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 4	152

---

Anexo C.4 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 5A	153
Anexo C.5 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 5B	154
Anexo C.6 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 6A	155
Anexo C.7 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 6B	156
Anexo C.8 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 7A	157
Anexo C.9 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 7B	158
Anexo C.10 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 8A	159
Anexo C.11 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 8B	160
Anexo C.12 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 9A	161
Anexo C.13 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 9B	162
Anexo C.14 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 10A	163
Anexo C.15 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 10B	164
Anexo C.16 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 11A	165
Anexo C.17 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 11B	166
Anexo C.18 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 12A	167
Anexo C.19 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 14	168
Anexo C.20 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 15	169
Anexo C.21 – Resultado Gráfico da Simulação – Cenário 16	170

## RESUMO

A outorga dos direitos do uso da água é o instrumento regulador dos recursos hídricos segundo a Lei Federal nº 9.433/97. Para efetivar os processos de outorga de modo eficiente diversos estudos devem ser considerados: a caracterização da bacia hidrográfica, identificando os principais usuários e as suas demandas atuais e futuras; a discretização da bacia em pontos de cálculo; a avaliação das disponibilidades hídricas naturais e simulações do sistema hídrico da bacia considerando diversos cenários. Busca-se neste trabalho fornecer as informações necessárias para a efetivação do processo de outorga, na bacia do rio Gramame, localizada no Estado da Paraíba, realizando os estudos acima mencionados. Para isto, diversos modelos hidrológicos foram descritos e aplicados, e seus resultados analisados. Cenários prospectivos foram simulados, permitindo inferir que uma revisão do critério de outorga adotado pelo Decreto Estadual nº 19.260/97 é necessária.

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - A Água e o Desenvolvimento Sustentável

Já se foi o tempo em que se acreditava na abundância ilimitada da água. O recurso água, diferentemente da maioria dos recursos essenciais à vida, possui limites de disponibilidade bem definidos. Por conseguinte, a garantia de acesso à água em quantidade e com qualidade adequada vem adquirindo cada vez mais contornos estratégicos para o desenvolvimento, e até sobrevivência, das sociedades.

Em regiões semi-áridas, como o Nordeste Brasileiro, a situação é ainda mais grave. O período chuvoso, concentrado em poucos meses, seguido de um longo período de estiagem, torna a água insumo básico chave e até fator limitante do nível de desenvolvimento a ser atingido (SEPLAN/PR, 1994). Então, quando ocorrem as grandes secas, a demanda insatisfeita é intensa e prolongada, correspondendo, segundo VIEIRA (1994), a um risco anual aproximado de 20% com intervalo de recorrência de 11 anos (nos últimos três séculos registraram-se 34 secas compreendendo 60 anos).

Nas últimas quatro décadas, entretanto, e em especial nos últimos anos, as experiências adquiridas, o avanço tecnológico e a maior consciência das restrições e obstáculos a serem superados vêm modificando conceitos importantes.

A concepção de escassez hídrica, por exemplo, antes considerada um fenômeno puramente físico, incorpora cada vez mais fenômenos de origem social. Já é quase consenso que a avaliação da questão hídrica em uma determinada região não pode

ficar restrita a balanços entre oferta e demanda, devendo contemplar a inter-relação entre os recursos hídricos e os fatores geo-ambientais, socioculturais e econômicos.

VIEIRA (1994) apresenta princípios e critérios que devem ser usados em uma nova política de águas visando o desenvolvimento sustentável do semi-árido, dos quais cita-se a seguir os de maior importância:

- Compatibilizar, no cenário desejado de longo prazo, as atividades humanas planejadas com a disponibilidade hídrica viável, racionalizando usos, preservando a qualidade, melhorando a eficiência e evitando desperdícios;
- Minimizar, através de um programa permanente de controle hidro-ambiental, não só a poluição hídrica em si como também qualquer processo de deteriorização ambiental;
- Promover um programa de agricultura irrigada de alta eficácia;
- Institucionalizar um sistema de planejamento estratégico regional, baseado nos sistemas estaduais de gerenciamento de recursos hídricos, de forma a resolver conflitos, harmonizar interesses e otimizar ações, e;
- Desenvolver modelos de gestão de bacias apropriados ao semi-árido.

Estes critérios devem ser considerados também para a região litorânea do Nordeste a qual, identicamente às regiões semi-áridas, é afetada por um período de estiagem prolongado (da ordem de 6 meses).

Além destes princípios e critérios, é importante ressaltar que, sendo a sustentabilidade de uma região somente alcançável quando o próprio desenvolvimento econômico gera os recursos para a conservação do meio ambiente e sendo a água, em regiões semi-áridas, um insumo de importância vital, sua utilização deve ser compensada por tarifas. O comportamento de entidades tradicionais de fomento econômico, como o Banco Mundial, reforça esta afirmação. Na década de setenta, o objetivo divulgado destas entidades era o crescimento econômico dos países menos desenvolvidos. Hoje, em uma atitude diametralmente oposta, as mesmas entidades estão priorizando o desenvolvimento sustentável através do fortalecimento da iniciativa privada e do mercado de água (ABAS INFORMA, 2000).

A água é, portanto, fator de produção e de proteção responsável pela manutenção da vida, sendo um patrimônio do planeta de importância inegável para o desenvolvimento sustentável de todas as sociedades.



## 1.2 - Necessidade da Gestão dos Recursos Hídricos

A disponibilidade de água no Brasil ainda é significativa - 8% da oferta mundial de água. O problema é que esse percentual está distribuído de forma irregular; pois 80% da água doce do país encontram-se na região Amazônica, restando apenas 20% - também distribuídos irregularmente - para o abastecimento das demais áreas do território brasileiro, as quais concentram 95% da população.

Além da irregularidade na distribuição, o desperdício, as ações predatórias comumente praticadas no meio ambiente e a falta de preocupação com a elaboração de um planejamento integrado capaz de dar conta dos usos múltiplos da água, antes da execução de projetos desenvolvimentistas, também tornam o cenário brasileiro crítico no que se refere à questão hídrica. Os vazamentos e o uso inadequado da água tratada chegam a consumir perdulariamente cerca de 40% da água disponível (SANEAMENTO BÁSICO, 2001). A destruição de florestas e matas ciliares dos rios, indispensáveis a preservação de água no solo, estão fazendo secar muitas nascentes. Imensas quantidades de lixo e efluentes industriais são jogados sobre os rios degradando a qualidade de suas águas. A ampliação da indústria é incentivada sem a prévia verificação da capacidade de abastecimento do aumento populacional correspondente.

Na tentativa de mudar este quadro, foi promulgada, após anos de discussão, a Lei nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

A referida lei incorpora diversos princípios - descentralização, integração, participação e financiamento compartilhado - e instrumentos - planos de recursos hídricos, outorga de direito de uso dos recursos hídricos, cobrança pelo uso dos recursos hídricos - adotados em países que mais avançaram na gestão de suas águas. Mas, segundo LUCHINI (2000), a experiência aponta que a implementação de um modelo de gestão com tais características é cercada de desafios. A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, por exemplo, acarretará perda de poder por parte de órgãos públicos e, em consequência, as resistências serão fortes, principalmente nas bacias

hidrográficas de rios federais, pois, conforme afirma LEAL & ROVERE (1997), “os órgãos estaduais temem perder sua autonomia e independência e as leis dos estados muitas vezes são diferentes entre si, embora todos tenham que seguir uma diretriz única, dada pela lei federal”.

Dos princípios básicos estabelecidos pela Lei nº 9.433/97 para a gestão dos recursos hídricos podemos citar: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, associada ao reconhecimento da água como bem econômico; o reconhecimento da importância de seus usos múltiplos e a necessidade de um trabalho de gestão a um só tempo descentralizado e participativo. Estes princípios são praticados hoje em todos os países que avançaram na gestão de seus recursos hídricos (BARRAQUÉ, 1995; LANNA, 1999; RIBEIRO, 2000).

Também definidos na lei, encontra-se um conjunto de instrumentos considerados essenciais à boa gestão do uso da água: *Os planos de recursos hídricos*, que são planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos; *a outorga de direito de uso dos recursos hídricos*, instrumento através do qual o usuário assegura, por prazo determinado, o seu direito ao uso desse recurso; *a cobrança pelo uso dos recursos hídricos*, instrumento capaz de promover as condições de equilíbrio entre as forças de oferta (disponibilidade de água) e da demanda, promovendo, em consequência, a harmonia entre os usuários; *o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso*, que se constitui de certa forma numa classificação que permite destinarem-se volumes de água de determinado padrão de qualidade a usos cuja exigência seja compatível com esse padrão; e o *Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos*, conjunto de elementos organizados sob a forma de banco de dados, que auxilia no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos.

A Lei nº 9.433/97 também cria novos tipos de organização para a constituição do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos: *O Conselho Nacional* e os *Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos*, que são os órgãos mais elevados da hierarquia do Sistema de Gerenciamento. A eles cabe, em linhas gerais, decidir sobre questões relevantes dessa gestão, assim como dirimir conflitos e contendas de maior vulto; os *Comitês de Bacia*, que representarão o fórum de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica sendo constituídos por representantes dos usuários de recursos hídricos, da sociedade civil organizada e dos três níveis de governo; e as *Agências de Água*, que

servirão como apoio de um ou mais comitês e, entre outras responsabilidades, deverão realizar os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos em sua área de atuação, cobrar pelo uso dos recursos hídricos e gerir os recursos oriundos dessa cobrança, elaborar o plano de recursos hídricos de sua bacia e submetê-lo à apreciação do comitê e gerir o sistema de informação sobre recursos hídricos em sua área de atuação.

Mas, apesar desses esforços no âmbito legal, muitos são os problemas que os órgãos gestores, engenheiros e técnicos encontram para implementação desta política, assim, nota-se uma crescente necessidade de técnicas e ferramentas que orientem suas ações e auxiliem na análise e repartição racional dos recursos hídricos, ou seja, que dê suporte às tomadas de decisões relativas ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

É neste contexto que estão inseridos os objetivos desta pesquisa, uma vez que se pretende dar suporte ao processo de outorga de direito de uso da água, que segundo SILVEIRA et al. (1998), FERRAZ & BRAGA JÚNIOR (1998) e EUCLYDES et al. (1999), é o principal instrumento para a administração da oferta de água, constituindo-se na base do processo de gerenciamento dos recursos hídricos.

Ainda segundo FERRAZ & BRAGA JÚNIOR (1998) o estabelecimento da outorga é imprescindível por legitimar as utilizações dos recursos hídricos que, na sua ausência, assumem a característica de clandestinas, e conseqüentemente entravam o desenvolvimento sustentável e a utilização racional da água.

### 1.3 - Outorga de Direito de Uso da Água

O instituto da outorga é uma prática formal estabelecida desde o Código das Águas de 1934. Cinco décadas depois, com a Constituição Federal de 1988, os recursos hídricos recebem “status constitucional” e por último, com a Lei das Águas de 1997, a outorga é definida como um dos instrumentos básicos para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Várias são as formas de alocação da água identificadas nas diversas sociedades (GRIGG, 1996; KOCH, 1996; PIRES, 1996; LESSER et al., 1997; WATEAU, 2000; PAIVA, 2000). A outorga administrativa (ou controlada) é uma delas e é a opção adotada pelo modelo brasileiro de recursos hídricos (Lei nº 9.433/97). Nela, o poder público é o responsável pela emissão e controle das outorgas. Ele concede ao usuário o direito de uso da água estabelecendo os usos prioritários, a vigência da outorga, as vazões máximas outorgáveis.

Apesar do avanço que este processo representa em termos de gestão de recursos hídricos para o país, é possível identificar uma série de problemas que os respectivos órgãos gestores de recursos hídricos estão vivenciando. Segundo PAIVA & RIBEIRO (2000) os problemas se associam aos aspectos teóricos e de concepção, assim como aos aspectos práticos de operacionalização. A definição de um valor adequado para a vazão máxima outorgável, a ausência de dados fluviométricos em muitas bacias, o desconhecimento sobre os usuários e as suas demandas (sobretudo as difusas), estão entre os fatores complicadores no estabelecimento de um sistema de outorga.

Assim, um sistema de outorga eficiente que assegure o melhor controle quantitativo e qualitativo dos mesmos depende fortemente de uma boa e extensa rede de postos fluviométricos, e na ausência da mesma deve-se, preliminarmente ao processo de outorga, desenvolver estudos hidrológicos que maximizem as informações fluviométricas existentes, para que se possa alcançar então o equilíbrio entre as demandas dos vários usuários, a vazão mínima de preservação ambiental e a disponibilidade hídrica da bacia, além do perfeito conhecimento dos usuários e suas necessidades.

Segundo KELMAN (1997), a disponibilidade de água, que define o tamanho do bolo que poderá ser dividido entre os diversos usuários, será usada pelo poder outorgante para examinar os pedidos de outorga e verificar se há ou não água suficiente para atender o pedido, tanto sob o ponto de vista de quantidade como o de qualidade. Contudo, a definição desta disponibilidade e das demandas de água da bacia, depende de um processo interativo entre os fatores intervenientes nestas duas grandezas. O sucesso desta afirmação estará mais próximo da realidade quanto mais verdadeiras forem as avaliações, em processo continuado de melhoria destas informações básicas de suporte, acreditam SILVEIRA et al. (1998).

Os textos de PEREIRA & LANNA (1996), LANNA et al. (1997), KELMAN (1997), SILVA & LANNA (1996) e LANNA (1999) apresentam sugestões de critérios para definição da vazão outorgável.

Desta forma, uma vez definida a outorga, esta garante o acesso dos usuários à água, cada um sabendo qual o tamanho e qual o risco de indisponibilidade de sua fatia de bolo.

#### 1.4 - Bacia do Rio Gramame

As pequenas bacias hidrográficas (áreas inferiores a 800 km<sup>2</sup>) da região oriental do Nordeste Brasileiro apresentam um rendimento elevado (da ordem de 30%), pois se encontram em uma zona classificada como tropical úmida com duas estações distintas e são sentadas sobre um embasamento sedimentar. O maior interesse para essas pequenas bacias hidrográficas, do ponto de vista dos recursos hídricos, vem do fato delas se encontrarem geralmente próximas a grandes centros urbanos ou até em regiões peri-urbanas. São bacias que, embora pequenas, são sujeitas a um desenvolvimento sócio-econômico importante e crescente, principalmente baseado sobre as atividades agrícolas, de mineração, industriais e até de loteamento urbano e turístico. Os seus recursos hídricos são de mais a mais solicitados para os diversos usos na bacia, como também exportados para sistemas de abastecimento de água das grandes cidades (SILVA JÚNIOR et al., 2000 e RIBEIRO, 2000). Obviamente, conflitos de uso da água já existem em muitas dessas bacias e crescem rapidamente. A gestão e o planejamento dos usos dos recursos hídricos nessas bacias hidrográficas se tornam urgente. Porém, são bacias carentes em informações hidroclimatológicas.

A bacia hidrográfica do rio Gramame, entretanto, distingue-se das demais justamente porque dispõe de quantidade razoável de informações hidroclimatológicas. A CAGEPA (Companhia da Água e Esgotos da Paraíba) instalou em 1971 três postos pluviométricos e quinze postos pluviométricos na bacia com período de registro variando

no intervalo 1972 a 1989. Ao redor da bacia hidrográfica existem quatro postos pluviométricos instalados pela SUDENE com séries históricas relativamente longas.

### 1.5. Objetivos e Estrutura do Texto

Baseado no exposto acima, o objetivo principal deste trabalho é fornecer todos os elementos técnicos para que se possa efetivar a outorga de uso da água, sob o aspecto quantitativo, na bacia hidrográfica do rio Gramame.

Deste modo, seguindo a ótica de LANNA (1999), que estabelece etapas para a execução de um sistema de outorga, os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Identificar os usuários e determinar suas respectivas demandas, atuais e futuras;
- Determinar os pontos de cálculo;
- Gerar disponibilidades hídricas naturais, utilizando um modelo chuva-vazão, conceitual, distribuído e georeferenciado, e um modelo estocástico;
- Confrontar no espaço geográfico da bacia hidrográfica as demandas com as disponibilidades utilizando um modelo de rede de fluxo com regras de prioridades;
- Analisar a viabilidade do critério de outorga adotado pela legislação estadual. Como esta pesquisa pretende dar subsídio ao processo de outorga, é inconcebível realizar estas simulações considerando apenas as demandas atuais, sem se preocupar com o crescimento populacional e econômico da bacia, assim como, com os impactos causados pelas concessões de uso da água atuais nas demandas futuras. Desta forma, além das demandas atuais (2000), são consideradas as demandas referentes aos horizontes de 2005, 2010 e 2020.

## 2 – ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 – Localização e Características Fisiográficas

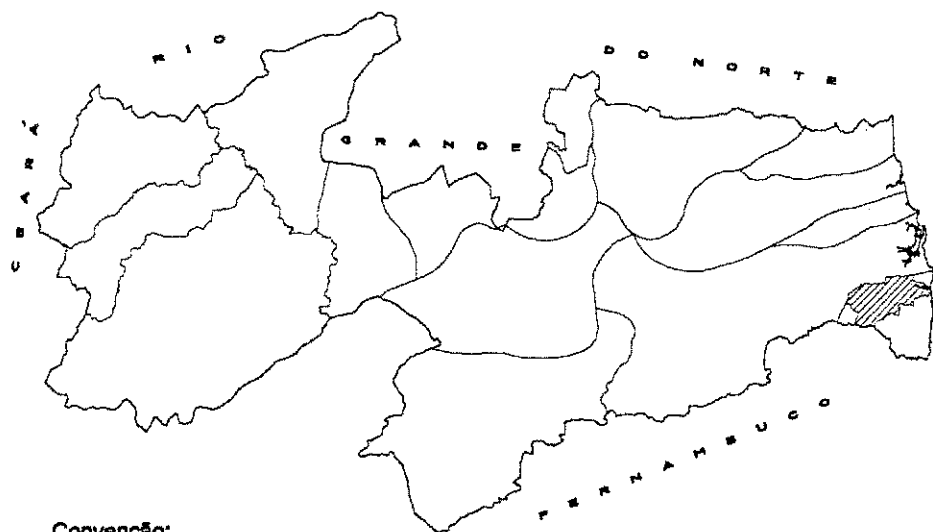
A bacia hidrográfica do rio Gramame localiza-se entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34° 48' e 35° 10' Oeste, no litoral sul do Estado da Paraíba (Figura 2.1). Estão inseridos na bacia os municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo, sendo que nenhum destes se encontra totalmente inserido na bacia. A bacia do rio Gramame drena aproximadamente uma área de 589,10 km<sup>2</sup>, e o comprimento da linha do divisor de águas que a delimita é de 123,30 km. O comprimento do curso d'água principal, o rio Gramame, perfaz um total de 54,30 km, medido desde a sua nascente na região do Oratório, município de Pedras de Fogo, até a praia de Barra de Gramame, onde limita os municípios de João Pessoa e Conde.

A bacia é formada pelas sub-bacias dos rios Mumbaba, Mamuaba, Água Boa e pela sub-bacia do rio Gramame contribuinte ao açude Gramame-Mamuaba. O açude Gramame-Mamuaba, principal reservatório da bacia, com capacidade máxima de acumulação em torno 56 milhões de m<sup>3</sup>, é um dos principais responsáveis pelo abastecimento da Grande João Pessoa.

De acordo com a classificação de relevo de DUBREUIL (1974) apud NOUVELOT e FERREIRA (1977), para a região Nordeste do Brasil, observa-se que o relevo da bacia do rio Gramame é predominantemente ondulado, com os relevos de suas

# BACIA DO RIO GRAMAME

## Estado da Paraíba



Convenção:

- Limite de Sub-bacia
- ▨ Bacia do Rio Gramame

0 1 2 3 4 5 km



Escala Aproximada

## LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DA PARAÍBA

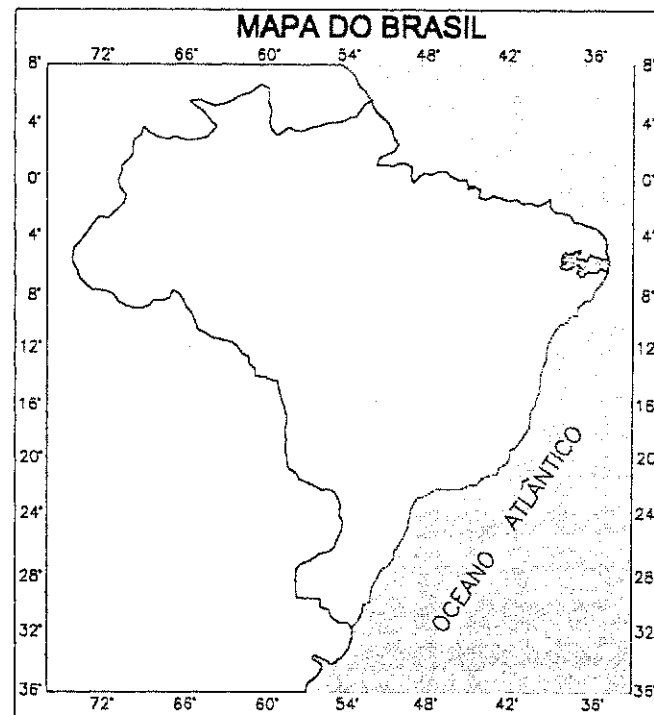


Figura 2.1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame



sub-bacias principais variando de suave a ondulado.

Da avaliação das curvas hipsométricas dos rios principais da bacia e da curva característica da distribuição das declividades, ambas presentes em SEMARH (2000a), conclui-se que a bacia se mostra predominantemente de fraca declividade, devido principalmente a grande ocorrência de baixas declividades.

Os principais parâmetros fisiográficos da bacia e de suas sub-bacias estão resumidos na Tabela 2.1

## 2.2 – Características Pedológicas, Geológicas e de Cobertura Vegetal

Os principais rios que compõem a bacia hidrográfica do rio Gramame, tem as suas nascentes localizadas na proximidade do complexo cristalino na porção sudoeste da bacia, caracterizado por falhas e fraturas. Desenvolvem-se na parte ocidental da bacia em vales encaixados que vão se alargando ao se aproximar da parte oriental da bacia hidrográfica. Sendo as referidas nascentes localizadas em uma área de baixa produtividade hídrica, a perenização dos mesmos só é completa quando atinge os terrenos sedimentares de maior potencial hídrico (Figura 2.2).

Observando-se o mapa de solos (Figura 2.3), percebe-se que os pequenos afluentes da margem esquerda do rio Gramame, no seu alto curso, e o próprio rio Gramame no seu curso médio na proximidade do açude Gramame-Mamuaba, desenvolvem-se onde os solos são predominantemente Podzol Hidromórfico. Tais solos são arenosos e profundos, com taxa de infiltração elevada e baixa retenção de água. São solos geradores de escoamento retardado. Já os solos podzólicos com fragipan, sejam eles de textura argilosa ou de textura média, apresentam permeabilidade razoável até encontrar em torno de 1,50 m de profundidade uma camada impermeável com fraturas. Solos desta natureza conduzem a escoamentos superficiais relativamente elevados. O aquífero do grupo Barreiras é alimentado por estas fraturas ou falhas, conduzindo a água da precipitação a fluir em direção às calhas do rio com uma cinética bastante baixa. Esses solos predominam na bacia hidrográfica do rio Mumbaba. O baixo curso do rio

Tabela 2.1 – Parâmetros fisiográficos da bacia do rio Gramame e de suas sub-bacias

BACIA	A	P	Lp	Kc	L	l	F	Dd	Rc	Ri	Ord.	ESM	H <sub>95%</sub>	H <sub>5%</sub>	Ig	Ds
Gramame	589,1	123,3	54,3	1,43	50,30	11,71	0,20	1,23	4,87	2,54	5	0,41	15,0	162,0	3,01	73,05
Sub – Mumbaba	177,2	87,2	42,5	1,85	39,49	5,95	0,14	0,93	4,99	3,58	4	0,54	27,4	152,6	3,26	44,66
Sub – Mamuaba	128,0	54,7	25,0	1,36	21,52	5,95	0,07	1,43	5,02	3,09	4	0,35	42,5	170,0	5,75	65,15
Sub – Água Boa	65,4	33,5	16,8	1,17	10,89	6,01	0,23	1,28	2,82	4,62	4	0,39	14,5	115,0	9,53	76,92

Fonte: SEMARH (2000a)

A	Área da bacia (km <sup>2</sup> )
P	Perímetro da bacia (km)
Lp	Comprimento do rio principal (km)
Kc	Índice de compacidade
L	Lado maior do Retângulo Equivalente (km)
l	Lado menor do Retângulo Equivalente (km)
F	Fator de Forma
Dd	Densidade de Drenagem (km/km <sup>2</sup> )
Rc	Coefficiente de Confluência
Ri	Coefficiente de Comprimento
Ord.	Ordem do curso d'água principal
ESM	Extensão Superficial Média (Km)
H <sub>95%</sub>	Cota correspondente a 95% da área
H <sub>5%</sub>	Cota correspondente a 5% da área
Ig	Índice de declividade global
Ds	Desnível específico (m).

# BACIA DO RIO GRAMAME

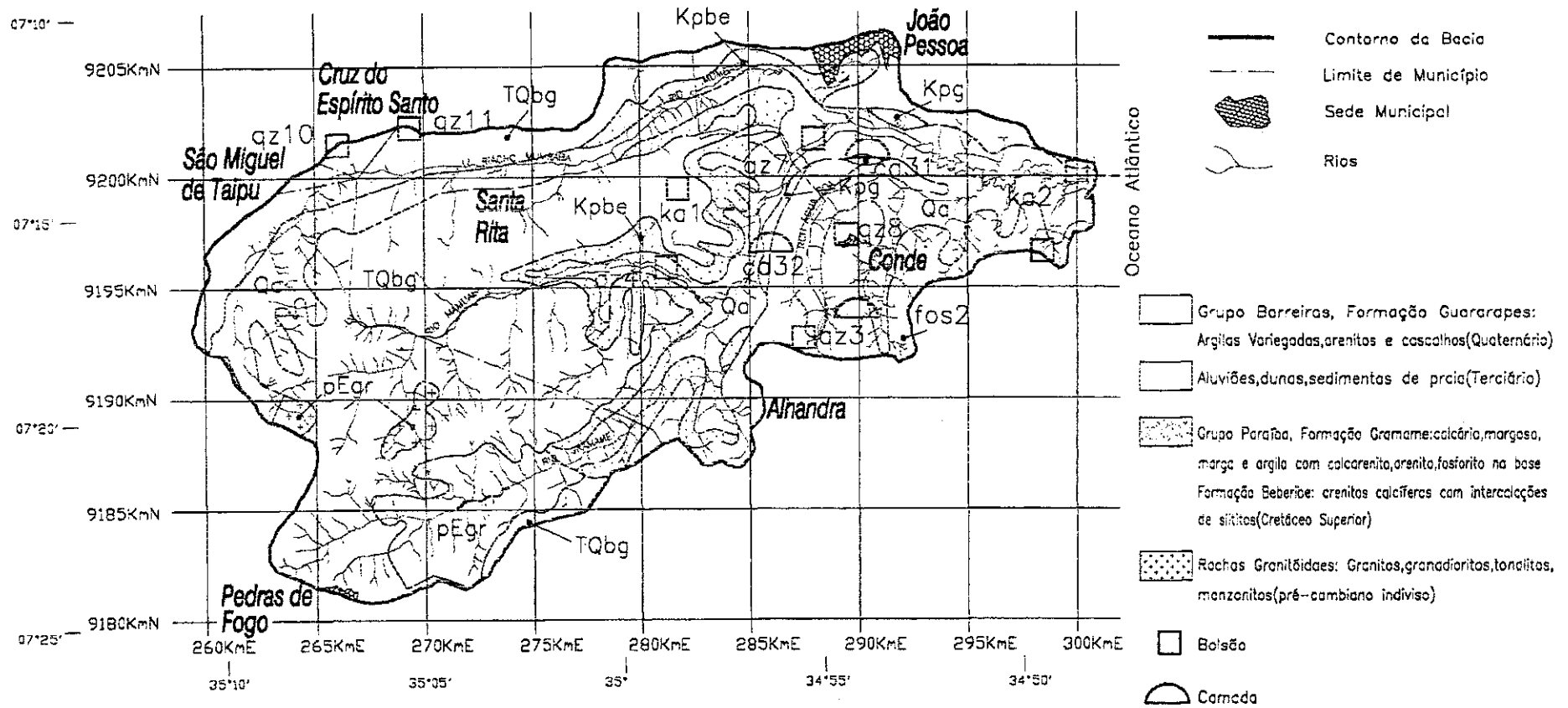
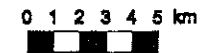
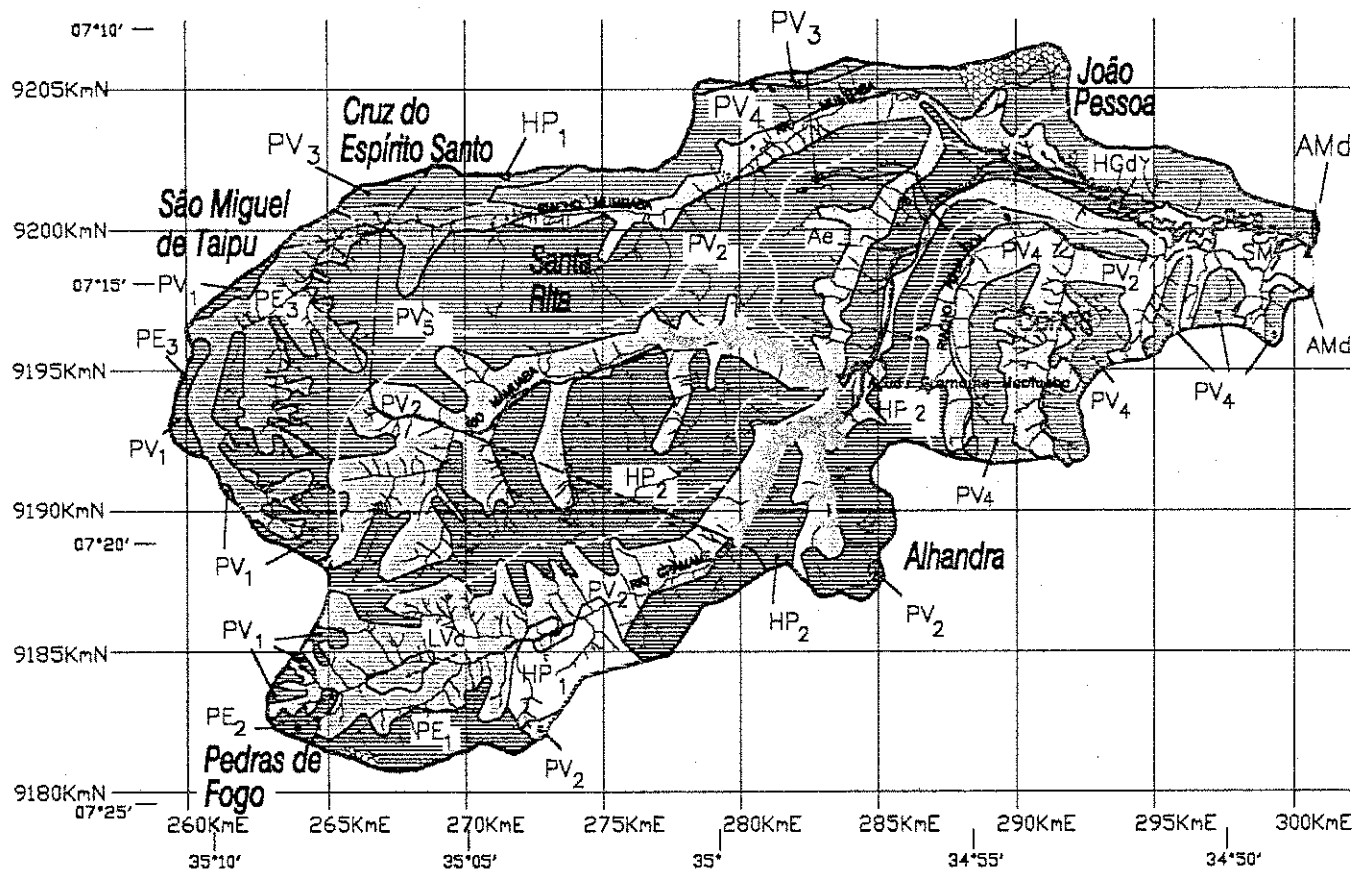


Figura 2.2 - Mapa geológico da bacia do rio Gramame

Escala Gráfica:



# BACIA DO RIO GRAMAME SOLOS



## Legenda:

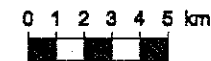
- Limite da Bacia
- Limite da Sub-bacia
- Limite de Município
- Sede Municipal
- Curso D'água

## Classificação :

- HP Podzoi Hidromórfico
- SM Solo de Mangue
- Hgd Gleyssolos
- Ae Aluvissolos
- AMd Areias Quartzosas Marinhas
- Lvd Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico
- PV Podzólico Vermelho Amarelo Orto
- PE Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico

Figura 2.3 - Mapa pedológico da bacia do rio Gramame

## Escala Gráfica:



Gramame desenvolve-se em uma planície com solos de mangue na sua proximidade com o oceano.

No que concerne a cobertura vegetal, o mapa de uso e ocupação do solo da bacia (Figura 2.4) e a Tabela 2.2 mostram que o antropismo já atinge 87,1% da área da bacia hidrográfica, compreendendo as áreas irrigadas, de atividades de mineração, de cultivo de sequeiro, aglomerados urbanos e pólos industriais, infra-estrutura viária e os espelhos d'água, restando apenas 12,9% de vegetação nativa (mata atlântica, cerrado, vegetação de várzea e vegetação de mangue) em toda bacia.

Tabela 2.2 – Ocupação e uso do solo em 1998.

Tipo de Ocupação	Área (ha)	Percentual
Mata Atlântica	3.820	6,5
Cerrado	1.137	1,9
Vegetação de Várzea	2.074	3,5
Vegetação de Mangue	613	1,0
Antropismo	51.266	87,1
Soma	58.910	100,0

Fonte: SEMARH (2000a)

### 2.3 – Características Climáticas

A situação do Estado próximo ao Equador, com alta radiação solar e alto número de horas de insolação, determina um clima quente com temperatura média anual de 26°C e poucas variações intra-anual. Então, de acordo com a classificação climática de Wladimir Köppen (adaptada para a região por SILVA et al., 1987), a região litorânea na qual se encontra a bacia do rio Gramame, está sujeita a dois tipos climáticos distintos:

-Tipo climático Aw'i - clima tropical chuvoso com estação seca no outono e variação da temperatura mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível, e;

# BACIA DO RIO GRAMAME

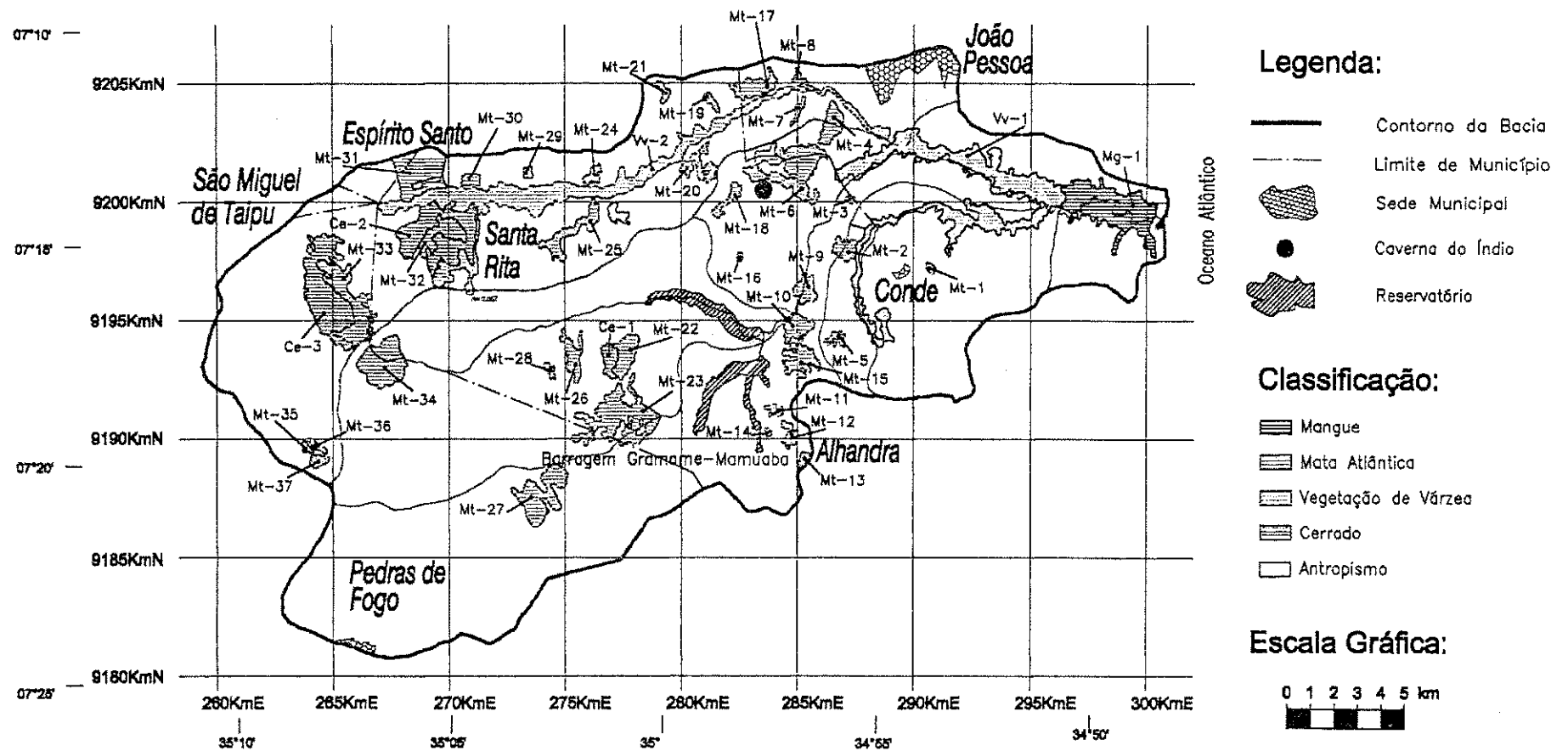


Figura 2.4 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Gramame

Fonte: Imagem SPOT-1998

-Tipo climático BSw'h' - clima seco tipo estepe com estação seca no outono e temperatura média mensal superior a 18°C. Apenas pequena parte da área ocidental da bacia encontra-se inserida nesta classificação.

A pressão, a temperatura do ar, a insolação, a nebulosidade e a velocidade do vento na bacia são representadas pelos dados da estação climatológica de João Pessoa que se encontra na região próxima à bacia hidrográfica do rio Gramame e é controlada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). São apresentadas na Tabela 2.3 as médias mensais e anuais referentes aos parâmetros meteorológicos acima citados, obtidas a partir das médias mensais e anuais dos valores diários.

Quanto a evapotranspiração potencial sobre a bacia hidrográfica, os valores médios calculados pelo método de Hargreaves (Tabela 2.4), publicados em SUDENE (1984), revelam ser pequena a variabilidade espacial da mesma. No posto da estação de tratamento de água de Marés, onde a evaporação do tanque classe "A" é medida, foram registrados dados nos anos 1972 a 1983 (Tabela 2.5).

#### 2.4 – Informações Pluviométricas Disponíveis

Na bacia hidrográfica do rio Gramame e na sua proximidade, 18 postos pluviométricos foram administrados pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba), os quais encontram-se desativados atualmente. Esses postos, assim como os respectivos períodos de observação e outras informações, estão listados na Tabela 2.6.

Ao redor da bacia hidrográfica do rio Gramame pode-se encontrar 04 postos que foram operados pela SUDENE até 1994 e posteriormente transferidos para o controle do Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba (LMRS – PB), que os monitora até hoje. Estes postos são listados na Tabela 2.7. Nesta tabela, aparece também um conceito de qualidade atribuído em um estudo extensivo sobre qualidade de dados climatológicos efetuado pela SCIENTEC (1999).

Tabela 2.3 - Dados climáticos médios medidos na estação climatológica da cidade de João Pessoa.

Variáveis	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Pressão ( $\mu\text{Pa}$ )	1009,2	1008,7	1008,8	1008,5	1009,2	1011,5	1012,5	1012,5	1011,0	1008,9	1010,0	1009,3	1010,0
Velocidade do vento (m/s)	3,6	3,6	3,1	3,0	2,9	3,1	3,5	3,7	4,0	3,9	3,8	3,8	3,4
Nebulosidade (0 - 10)	5,6	5,8	6,1	6,0	6,2	6,1	6,0	5,2	5,7	5,1	5,4	5,3	5,7
Insolação Total (Horas e décimos)	244,2	219,1	208,9	181,5	193,9	180,7	148,5	211,7	235,1	266,2	272,7	228,9	2591,4
Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	25,8	25,2	28,2	25,5	27,0	26,2	23,7	25,4	27,5	27,7	27,0	24,1	26,1
Temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,8	22,6	21,2	22,9	22,2	21,8	20,3	21,7	18,9	23,3	23,2	23,0	21,9
Temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	31,8	30,5	30,0	29,8	29,6	28,3	26,8	27,8	28,3	29,3	29,7	30,0	29,3

Tabela 2.4 – Evapotranspiração potencial média diária segundo G. H. Hargreaves (mm).

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Alhandra	5,0	4,9	4,6	4,0	3,3	2,9	2,9	3,3	4,0	4,6	4,9	4,9
João Pessoa	4,9	4,8	4,5	3,9	3,1	2,8	2,9	3,4	4,1	4,7	4,9	4,9
Sapé	5,1	5,0	4,7	4,0	3,4	2,9	2,9	3,4	4,1	4,6	5,0	5,1
També	5,1	4,9	4,4	3,9	3,2	2,9	3,1	3,5	4,2	4,8	5,0	5,0



Tabela 2.5 – Evaporação média mensal do tanque classe “A” medida na ETA de Marés (mm) – 1972/1983.

Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
150,0	132,0	142,0	130,0	117,0	108,0	116,0	123,0	137,0	157,0	155,0	149,0

Tabela 2.6 - Postos pluviométricos operados pela CAGEPA na bacia do Rio Gramame.

Código	Lat.	Long.	Altitude (m)	Período de observação	Nome do Posto
1735134	7° 22'	35° 03'	99	1971 – 1985	Faz. Bulhões
1734031	7° 07'	34° 53'	44	1971 – 1989	R-2 Centro
1735136	7° 16'	35° 03'	101	1971 – 1989	Imbiribeira
1734024	7° 09'	34° 54'	38	1971 – 1984	Marés
1734025	7° 15'	35° 01'	71	1971 – 1989	Faz. Mamuaba
1735128	7° 13'	35° 02'	85	1971 – 1985	Água Mineral
1735135	7° 19'	35° 02'	110	1971 – 1989	Riacho do Salto
1735133	7° 23'	35° 07'	139	1971 – 1989	Faz. Santa Emília
1735131	7° 18'	35° 09'	127	1971 – 1985	Fazendinha
1734030	7° 06'	34° 50'	24	1971 – 1989	R-9 Tambaú
1735132	7° 17'	35° 06'	136	1971 – 1989	Faz. Mamoaba de Cima
1735129	7° 13'	35° 06'	89	1971 – 1989	Faz. Princesa
1734027	7° 20'	34° 59'	76	1971 – 1984	Várzea Cercada
1734028	7° 17'	34° 57'	72	1972 – 1985	Faz. Santo Antônio
1734032	7° 08'	34° 53'	61	1971 – 1989	R-5 Cruz das Armas
1734026	7° 11'	34° 58'	89	1971 – 1989	Faz. Mumbaba
1734029	7° 10'	34° 54'	55	1971 – 1989	Faz. Veneza
1735127	7° 20'	35° 05'	125	1971 – 1989	Jangada

Tabela 2.7 - Postos pluviométricos administrados pela Sudene

Código	Lat.	Long.	Altitude (m)	Período de observação	Nome do Posto	Conceito*
3849878	7° 25'	35° 07'	190	1910 – 1990	També	E
3849254	7° 06'	35° 14'	125	1924 – 1993	Sapé	E
3940819	7° 26'	34° 55'	49	1936 – 1994	Alhandra	E
3849232	7° 18'	41° 09'	146		Acaú	E

\* E = excelente qualidade.

## 2.5 - Informações Fluviométricas Disponíveis

Na bacia hidrográfica do rio Gramame, três postos fluviométricos foram operados pela CAGEPA a partir de 1971. Três medições limnimétricas diárias eram feitas, e, a partir destas, o nível médio diário da água no rio era calculado. Na Tabela 2.8, constam os nomes dos postos fluviométricos com as suas respectivas coordenadas e áreas de drenagem. Na Figura 2.5, os postos fluviométricos são localizados na bacia hidrográfica.

Tabela 2.8 – Postos fluviométricos na bacia hidrográfica do rio Gramame

Nome	Código	Rio	Coordenadas UTM		Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
			Latitude	Longitude	
Faz. Mumbaba	-	Mumbaba	9204,79	285,81	163,40
Faz. Mamuaba	-	Mamuaba	9195,50	281,00	121,20
Faz. Santo Antônio	-	Gramame	9194,46	284,71	125,80

Das medições efetuadas foram encontrados, nos arquivos da CAGEPA, os seguintes dados:

-Dados diários dos níveis médios nos rios Gramame (período 01/80 a 02/86), Mamuaba (período 05/85 a 07/87) e Mumbaba (período 01/80 a 01/84), medidos em suas respectivas estações limnimétricas. As vazões diárias correspondentes aos níveis medidos nas seções de medição dos três rios não puderam ser calculadas, pois não havia informações sobre as curvas-chaves destas seções, e;

-Dados mensais de níveis e vazões disponíveis no período de janeiro de 1975 a abril de 1982, para os rios Mumbaba e Mamuaba, e no período de janeiro de 1975 a junho de 1978 para o rio Gramame.

Foram encontradas também as vazões diárias no posto fluviométrico do rio Mamuaba, de janeiro de 1972 a dezembro de 1974, extraídas da dissertação de mestrado de DINIZ (1994).

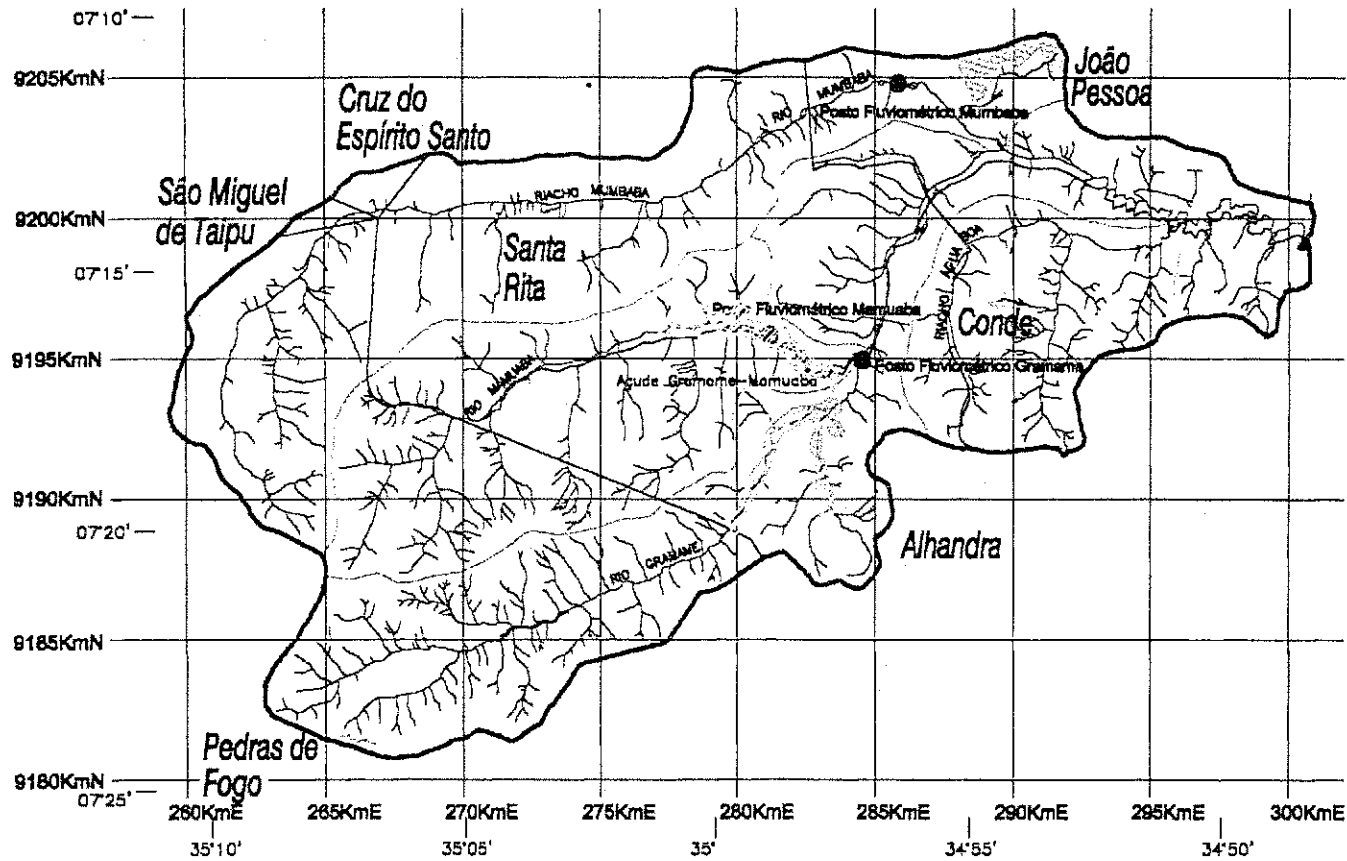
Contudo, não existem dados de descarga no rio Água Boa, nem no rio Gramame a jusante da confluência com o rio Mumbaba, ou seja, não se dispõe de nenhuma informação fluviométrica sobre a parte oriental da bacia hidrográfica.

Assim, os dados médios mensais disponíveis são:



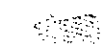




-Na seção transversal correspondendo ao posto limnimétrico no rio Mumbaba, dados no período de janeiro de 1972 a abril 1982 (Figura 2.6);

-Na seção transversal correspondendo ao posto limnimétrico no rio Mamuaba, dados no período de janeiro 1972 a abril 1982 (Figura 2.7), e;

# BACIA DO RIO GRAMAME



## Legenda:

-  Limite da Bacia
-  Limite de Município
-  Sede Municipal
-  Contorno de Sub-bacia
-  Curso D'água
-  Açudes
-  Postos Fluviométricos

## Escala Gráfica:

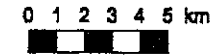


Figura 2.5 - Localização dos postos fluviométricos da bacia do rio Gramame

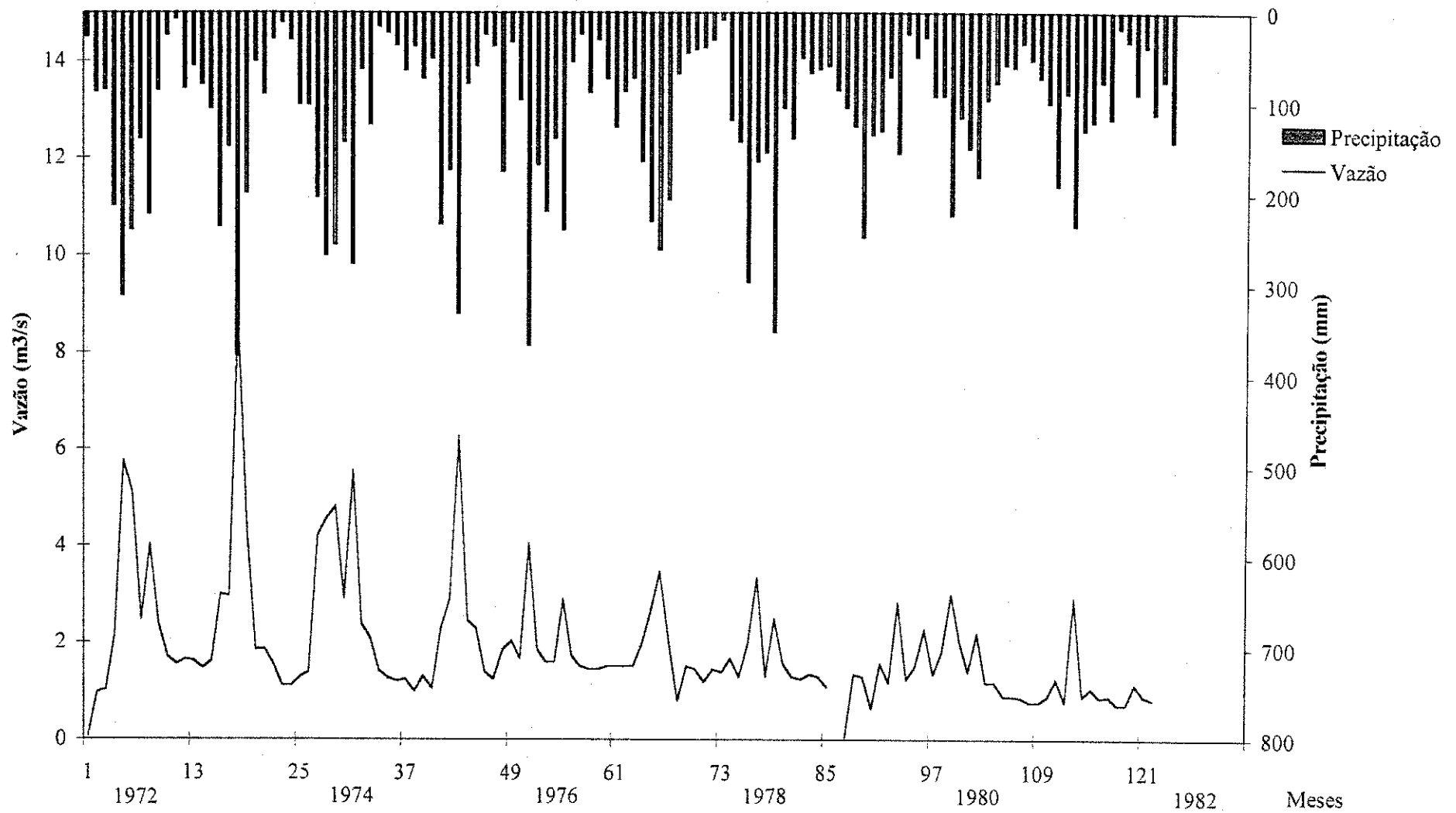


Figura 2.6 - Hidrograma do rio Mumbaba (1972/1982)

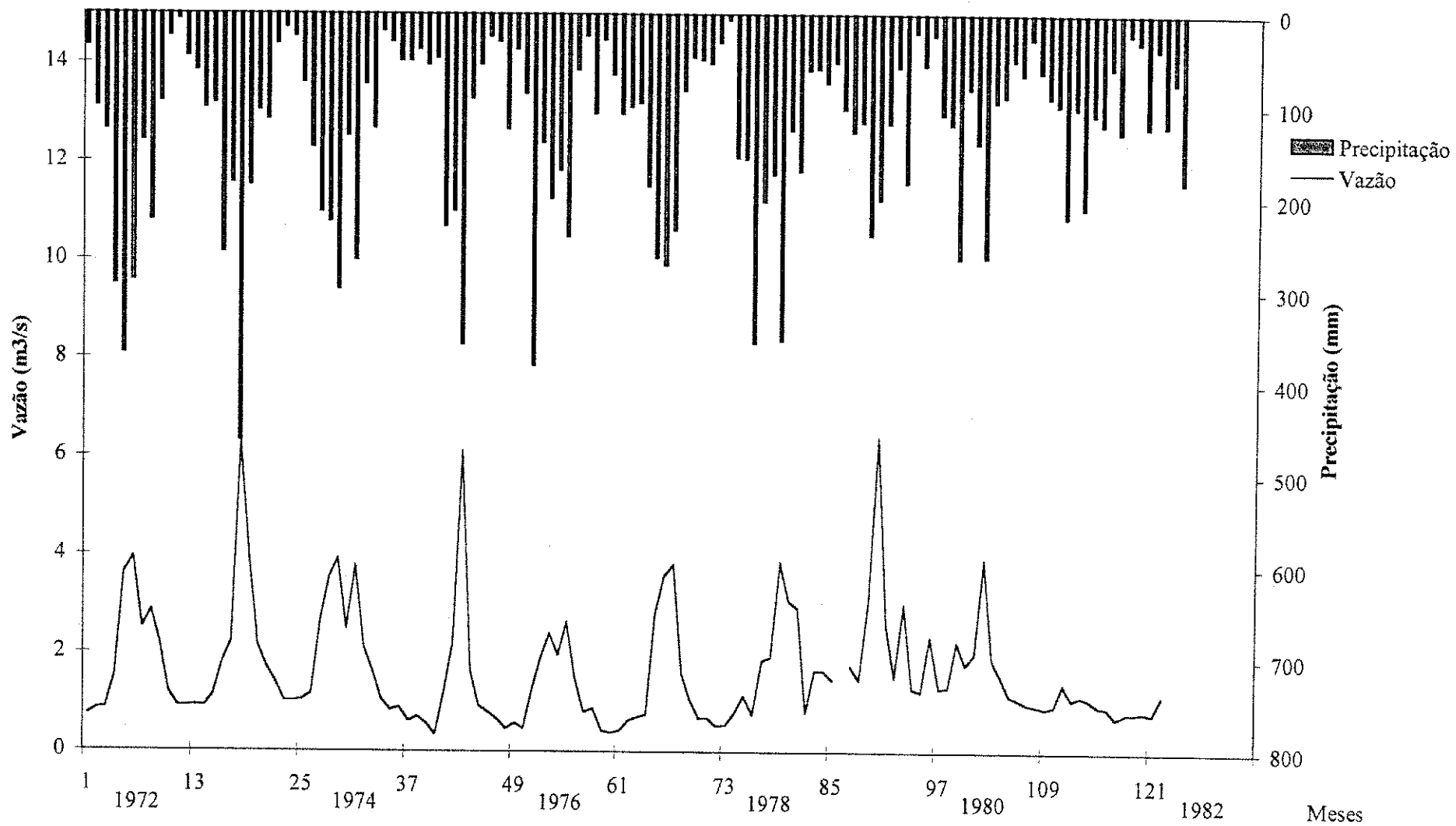


Figura 2.7 - Hidrograma do rio Mamuaba (1972/1982)

-Na seção transversal correspondendo ao posto limnimétrico no rio Gramame, dados no período de janeiro 1972 a agosto 1978 (Figura 2.8).

## 2.6 –Principais Reservatórios

### A barragem Gramame-Mamuaba

O complexo Gramame-Mamuaba é constituído de duas barragens, sendo uma no rio Gramame e outra no rio Mamuaba. As duas barragens comunicam-se através de um canal cujas cotas da soleira são respectivamente, 28,59 m no açude Gramame e 28,61 m no açude Mamuaba. No açude de Gramame, existe um vertedouro cuja soleira encontra-se na cota 35 m. Os dois açudes podem ser operados simultaneamente ou separadamente através de válvulas dispersoras com tomadas de água nas cotas 18,80 m no açude de Gramame e 20,30 m no açude de Mamuaba. A construção do complexo foi finalizada em 1990, sendo que os açudes começaram a acumular água em Agosto de 1988.

### Pequenas barragens na bacia

Pequenas barragens foram observadas na bacia hidrográfica. A partir das informações destas barragens contidas em SEMARH (2000a) e com as fichas cadastrais das mesmas, foi possível estimar o volume da água represada por essas barragens em 430,5 mil m<sup>3</sup>, utilizando o método de Mollé descrito em SUDENE (1992).

### Barragens planejadas

De acordo com as recomendações encontradas em SEMARH (2000a), vê-se a urgência da construção de um reservatório de aproximadamente 41 milhões de m<sup>3</sup> no rio Mumbaba, fato já previsto por CAGEPA (1994). No alto curso do rio Gramame, no município de Pedras de Fogo, também é recomendada a construção de um reservatório de regularização da ordem de 8 milhões de m<sup>3</sup>, visando suprir o abastecimento da cidade de Pedras de Fogo como também mitigar os conflitos inevitáveis entre os irrigantes e o abastecimento de água da Grande João Pessoa.

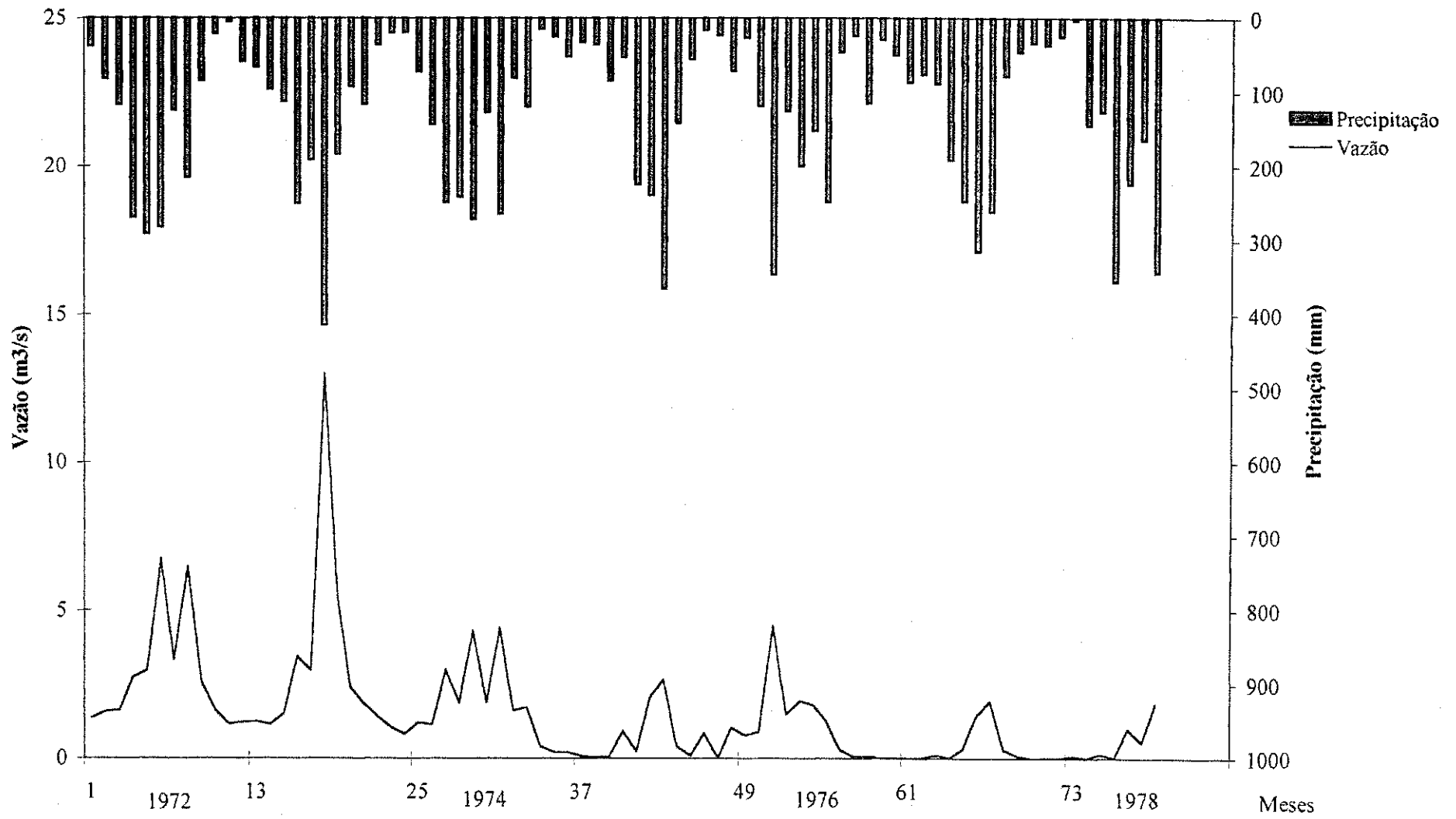


Figura 2.8 - Hidrograma do rio Gramame (1972/1978)

## 2.7 – Projeção Populacional

Na bacia do rio Gramame estão inseridos 07 municípios conforme relacionados na Tabela 2.9 (Figura 2.9). Este quadro apresenta a área de jurisdição municipal e a fração percentual contida na bacia.

Tabela 2.9 – Municípios componentes da bacia do rio Gramame.

Municípios	Área total (km <sup>2</sup> )	Área contida na bacia		
		km <sup>2</sup>	% do total do município	% do total da bacia
Alhandra	224,42	99,72	44,43	16,93
Conde	164,10	76,47	46,60	12,98
Cruz do Espírito Santo	189,32	3,50	1,85	0,59
João Pessoa	209,94	59,07	28,14	10,03
Santa Rita	762,33	155,59	20,41	26,41
São Miguel de Taipu	63,60	2,20	3,46	0,37
Pedras de Fogo	348,02	192,56	55,33	32,69
Total	-	589,11	-	100,00








Na década de 90, os fluxos migratórios no Brasil sofreram mudanças. De acordo com os dados da contagem da população de 1996 do IBGE, a região Nordeste permanece como a maior responsável pelo movimento migratório: 43,8% do total entre 1991 e 1996. Em função da crise econômica vivida pelo país nos anos 90, particularmente no estado de São Paulo maior receptor de migrantes nordestinos, verificou-se nesta década o crescimento da migração de retorno dos nordestinos. Também foi verificada a migração para municípios do mesmo estado. Cidades pequenas e médias apresentaram expressivo crescimento econômico e passaram a atrair novos moradores.

Esses movimentos migratórios foram responsáveis pelas mudanças nas relações urbano/rural de muitos municípios paraibanos. Os referidos municípios estão passando por um processo de urbanização do campo. Uma pesquisa coordenada pelo Núcleo de Economia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, que contou com a participação de pesquisadores de 11 Universidades Federais, além da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), baseada nos dados das pesquisas por amostra domicílio do IBGE, chega à conclusão de que o meio rural brasileiro não é apenas um



# BACIA DO RIO GRAMAME

## Legenda:

-  Limite da Bacia
-  Limite de Município
-  Sede Municipal
-  Curso D'água
-  Rodovias estaduais
-  Rodovias federais
-  Rodovias municipais

## Escala Gráfica:

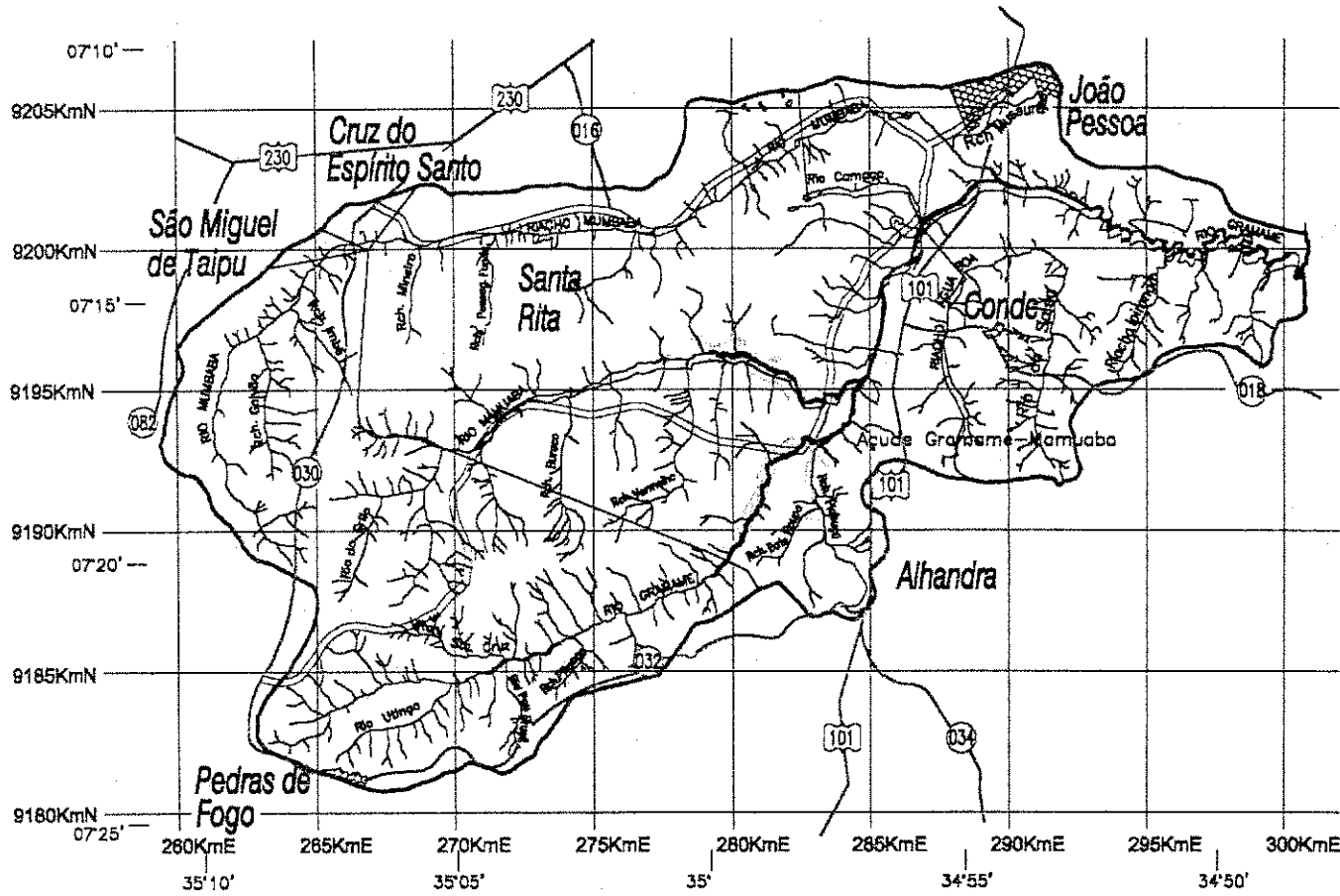
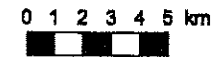


Figura 2.9 - Hidrografia, Divisão Política e Rodovias

local de trabalho e sim um local de residência (EDITORA ABRIL, 2000).

Logicamente, cada município apresenta suas características próprias, que devem cuidadosamente ser levadas em consideração na realização de projeções populacionais, o que será apresentado a seguir.

Neste estudo foram utilizados os dados das populações dos municípios que compõem a bacia ou são beneficiados pela mesma, dos censos de 1970, 1980, 1991 e 1996 obtidos junto a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estes dados estão apresentados na Tabela 2.10 segundo os municípios. Também são utilizados os dados de população calculados pelo IBGE para os anos compreendidos entre 1997 e 2020, constantes em IBGE (1999), apresentados na Tabela 2.11.

Tabela 2.10 – Dados censitários do IBGE por municípios.

Ano	Município: Alhandra					Município: Pedras de Fogo				
	População					População				
	Total	Urbana	%	Rural	%	Total	Urbana	%	Rural	%
1970	11.534	3.209	27,82	8.325	72,18	15.642	4.876	31,17	10.766	68,83
1980	9.169	3.781	41,24	5.388	58,76	19.881	7.973	40,10	11.908	59,90
1991	13.270	6.718	50,63	6.552	49,37	26.614	12.876	48,38	13.738	51,62
1996	14.613	7.606	52,05	7.007	47,95	26.032	13.725	52,72	12.307	47,28
Ano	Município: Conde					Município: Santa Rita				
	População					População				
	Total	Urbana	%	Rural	%	Total	Urbana	%	Rural	%
1970	4.915	277	5,64	4.638	94,36	53.357	30.695	57,53	22.662	42,47
1980	6.365	768	12,07	5.597	87,93	68.227	54.015	79,17	14.212	20,83
1991	10.391	3.269	31,46	7.122	68,54	94.413	76.490	81,02	17.923	18,98
1996	12.239	6.638	54,24	5.601	45,76	105.625	85.605	81,05	20.020	18,95
Ano	Município: Cruz do Espírito Santo					Município: São Miguel de Taipu				
	População					População				
	Total	Urbana	%	Rural	%	Total	Urbana	%	Rural	%
1970	13.620	2.600	19,09	11.020	80,91	7.971	1.337	16,77	6.634	83,23
1980	13.202	4.752	35,99	8.450	64,01	4.235	2.010	47,46	2.225	52,54
1991	12.651	4.493	35,51	8.158	64,49	4.213	2.531	60,08	1.682	39,92
1996	12.966	5.385	41,53	7.581	58,47	4.172	2.692	64,53	1.480	35,47

Tabela 2.11 – População total dos municípios inseridos e beneficiados pela bacia, para todos os anos horizontes definidos, segundo o IBGE.

Municípios	População 2000	População 2005	População 2010	População 2020
Alhandra	16.726	18.900	21.122	25.419
Cruz do Espírito Santo	13.922	14.568	15.035	15.459
Santa Rita	120.747	136.329	152.020	182.515
São Miguel de Taipu	4.377	4.493	4.544	4.529
Bayeux	94.597	103.726	112.033	125.768
Cabedelo	42.115	51.098	61.258	84.143
João Pessoa	621.626	693.416	762.891	883.283
Conde	14.786	17.804	21.214	29.042
Pedras de Fogo	26.813	26.549	26.007	24.208

### 2.7.1 - Projeção das Populações Urbana e Rural

Na Tabela 2.11 foi apresentada a previsão populacional para os municípios da bacia hidrográfica, efetuada pelo IBGE. No entanto, a repartição desta população entre rural e urbana requer um estudo demográfico caso a caso.

O texto abaixo justifica os percentuais utilizados nas projeções das populações, rural e urbana, de cada município, extraído de SEMARH (2000a).

#### □ Município de Alhandra

*“Como podemos observar nos dados dos últimos censos o município de Alhandra apresenta pouco decréscimo na participação da população rural entre 1991 e 1996. Mantendo certa coerência com o que se verificou na análise feita anteriormente para os movimentos migratórios verificados para o país. O município é dotado de solos férteis e apresenta um dos mais altos índices pluviométricos verificados no estado. Possui Projetos de Assentamentos e poderão surgir outros em função do Programa de Reforma Agrária. Portanto, mantidas as condições atuais é razoável manter o*

*percentual 47,95%, de participação na população total e mantendo-o constante para os anos 2000, 2005, 2010 e 2020”.*

□ Município do Conde

*“O município do Conde no período de 1991/1996 passou por um processo de urbanização muito forte. Tem uma área de 164,1 km<sup>2</sup>, onde se concentram dois povoados urbanizados: a praia de Jacumã e o distrito de Gurugi. É um dos municípios paraibanos onde o grau de urbanização é praticamente irreversível até mesmo pela sua proximidade da Capital do Estado. O município está sendo beneficiado pelo Governo do Estado com investimentos na área turística. No entanto, o município apresentou em 1996, segundo Contagem Populacional do IBGE, 45,76% de sua população vivendo na área rural. Possui assentamentos rurais e ainda se verificam vários conflitos pela posse da terra.*

*Para efeito de estimativa é razoável manter constante o percentual da população rural verificado em 1996, para 2000, 2005, 2010, 2020. No entanto, o município do Conde tem uma tendência muito forte de passar por um processo de formação de núcleos urbanos no campo”.*

□ Município de Cruz do Espírito Santo

*“O município de Cruz do Espírito Santo possui uma área de 189,32 km<sup>2</sup>, onde grande parte é ocupada com a cultura da cana-de-açúcar. No período 1980/1991, houve um decréscimo populacional, significando um pequeno movimento migratório. A população rural manteve-se praticamente constante no mesmo período, representando 64,01% em 1980, e 64,49% em 1991, caindo para 58,42% em 1996. É importante ressaltar que muitos trabalhadores envolvidos na cultura da cana-de-açúcar habitam na zona urbana do município. O município já foi beneficiado com um Projeto de Assentamento, inclusive com agrovila já implantada. A região é sujeita a conflitos rurais o que implica na possibilidade de novas desapropriações, podendo inclusive induzir um pequeno crescimento da população rural,*

*apesar do pequeno decréscimo verificado entre 1991 e 1996, caindo de 64,49% em 1991, para 58,47% em 1996.*

*Acredita-se que o município não apresentará grandes variações da população rural nos próximos anos. Para efeito de projeção sugerimos a média das participações nos anos de 1980, 1991 e 1996, ou seja, 62,32%, mantendo essa participação constante para os anos 2000, 2005, 2010 e 2020”.*

□ **Município de Pedras de Fogo**

*“O município de Pedras de Fogo no período 1991/1996 apresentou um ligeiro decréscimo populacional de 26.614 em 1991 caiu para 26.032 em 1996. A população urbana apresentou um ligeiro crescimento no mesmo período. A população rural também apresentou um pequeno declínio. Em 1991 representava 51,62% da população total, caindo para 47,28% em 1996.*

*A economia do município é fortemente influenciada pela cultura da cana-de-açúcar e a produção de inhame. O município fica localizado próximo a grandes centros urbanos, como João Pessoa e Goiana - PE e até mesmo do Recife. Diante deste fato, é possível que haja certa migração intra-regional e intramunicipal particularmente na época da colheita da cana.*

*Para efeito de Projeção sugerimos a média das participações dos anos de 1991 e 1996, ou seja, 49,45% da população rural mantida constante para os anos 2000, 2005, 2010 e 2020”.*

□ **Município de Santa Rita**

*“O município de Santa Rita tem apresentado um equilíbrio na relação população rural/urbana entre os anos de 1991 e 1996. Em 1991 a população urbana representava 81,02% do total e em 1996, manteve-se no mesmo patamar. O mesmo aconteceu com a população rural em termos relativos apesar de ter havido um pequeno incremento em termos absolutos da população rural.*

*O município tem sua economia baseada na cultura da cana-de-açúcar, onde sedia várias usinas e destilarias e possui também um razoável parque industrial. Muitos trabalhadores rurais atuam na cultura da cana-de-açúcar e moram na zona urbana. O comportamento constante da participação relativa nos anos de 1991 e 1996 onde praticamente não houve êxodo rural deve-se ao fato de neste período haver sido implantado várias agrovilas no município.*

*Para efeito de projeção da população rural para os anos 2000, 2005, 2010 e 2020, sugerimos manter a média das participações da população rural constante 18,96% verificada para os anos de 1991 e 1996”.*

□ Município de São Miguel de Taipu

*“O município de São Miguel de Taipu é um município que possui uma área de apenas 45,0 km<sup>2</sup>. A base da economia do município é a criação de gado extensiva e também se produz cana-de-açúcar em pequena quantidade.*

*O município possui apenas 52 imóveis rurais, correspondendo a 2.656,7 ha. A concentração fundiária é muito forte apenas 9 imóveis totalizam 2.399,4 ha o que corresponde a 90.31% da área total dos imóveis rurais.*

*A criação de gado extensiva ocupa pouca mão-de-obra. Sem emprego a população rural emigra para outros municípios e cidades maiores, daí a origem do decréscimo da população rural. No município recentemente tem acontecido conflitos rurais pela posse da terra. Em 1998 foi criado um projeto de assentamento denominado “Novo Taipu” e existem outros projetos em tramitação. Com a concretização dessas desapropriações poderá diminuir o decréscimo da população rural ou mesmo estacionar no nível atual. Portanto, para efeito de projeção sugerimos manter constante a participação da população rural verificada em 1996, de 35,47%, para os anos 2000, 2005, 2010 e 2020”.*

□ Região da Grande João Pessoa

A Grande João Pessoa é formada pelos municípios de João Pessoa, Bayeux, Cabedelo e pelo distrito de Várzea Nova em Santa Rita. Devido à proximidade destas cidades com João Pessoa, o meio rural acaba sendo tomado por distritos industriais, tornando o abastecimento exclusivo a população urbana.

### 2.7.2 – Síntese das Projeções Populacionais

A Tabela 2.12 indica a população urbana a ser atendida pela bacia nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2020, calculadas considerando os percentuais estabelecidos no item anterior.

A Tabela 2.13 apresenta a população rural dos municípios por sub-bacias, nos horizontes definidos, considerando a área rural incluída dentro da bacia.

Tabela 2.12 – População urbana a ser atendida pela bacia nos horizontes de projeto.

Municípios	População Urbana 2000	População Urbana 2005	População Urbana 2010	População Urbana 2020
Bayeux	94.597	103.726	112.033	125.768
Cabedelo	42.115	51.098	61.258	84.143
João Pessoa	621.626	693.416	762.891	883.283
Conde	8.020	9.657	11.506	15.752
Pedras de Fogo	13.554	13.421	13.147	12.237
Várzea Nova	14.975	16.687	18.056	20.043
Total	794.887	888.004	978.891	1.141.226

Tabela 2.13 – População rural dos municípios por sub-bacias.

Municípios	População total municipal	População rural por sub-bacia - 2000			
		Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	8.020	409	1.699	0	1.451
Conde	6.766	2.215	1.007	0	0
Cruz do Espírito Santo	5.246	0	0	147	0
João Pessoa*		0	1.319	1.139	0
Santa Rita	22.900	0	825	2.565	1.299
São Miguel de Taipu	1.553	0	0	75	0
Pedras de Fogo	13.259	0	3.299	2.116	1.737
TOTAL		2.625	8.150	6.042	4.487
Município	População total municipal	População rural por sub-bacia - 2005			
		Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	9.063	463	1.920	0	1.640
Conde	8.147	2.668	1.212	0	0
Cruz do Espírito Santo	5.489	0	0	153	0
João Pessoa*		0	1.589	1.371	0
Santa Rita	25.855	0	932	2.896	1.467
São Miguel de Taipu	1.594	0	0	77	0
Pedras de Fogo	13.128	0	3.267	2.095	1.720
TOTAL		3.130	8.920	6.593	4.827
Município	População total municipal	População rural por sub-bacia - 2010			
		Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	10.128	517	2.145	0	1.833
Conde	9.708	3.179	1.445	0	0
Cruz do Espírito Santo	5.665	0	0	158	0
João Pessoa*		0	1.893	1.634	0
Santa Rita	28.831	0	1.039	3.229	1.636
São Miguel de Taipu	1.612	0	0	78	0
Pedras de Fogo	12.860	0	3.200	2.052	1.685
TOTAL		3.696	9.722	7.152	5.153
Município	População total municipal	População rural por sub-bacia - 2020			
		Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	12.188	622	2.582	0	2.206
Conde	13.290	4.352	1.978	0	0
Cruz do Espírito Santo	5.825	0	0	163	0
João Pessoa*		0	2.591	2.237	0
Santa Rita	34.614	0	1.248	3.877	1.964
São Miguel de Taipu	1.606	0	0	78	0
Pedras de Fogo	11.971	0	2.979	1.910	1.568
TOTAL		4.974	11.377	8.265	5.738



\*A população rural do município de João Pessoa inserida em cada sub-bacia do rio Gramame, foi obtida multiplicando a taxa hab/km<sup>2</sup> do município do Conde, para população rural, pela área de João Pessoa inserida em cada sub-bacia.

## 2.8 – Projeção das Demandas Hídricas

Os principais usuários dos recursos hídricos da bacia foram divididos em 4 grupos:

### 2.8.1 - Abastecimento Humano

As previsões de demanda foram feitas com base nas populações estimadas anteriormente e nos consumos médios per capita adotados no Estado da Paraíba, uma vez que tais valores assemelham-se àqueles recomendados pela ABNT e possuem uma conceituação mais prática e mais compatível com a realidade do Estado da Paraíba. Para as comunidades rurais foi adotado um consumo per capita único e igual a 60 l/hab/dia, que representa o valor médio mais adotado no Brasil para comunidades desprovidas de sistemas de distribuição domiciliar de água. No caso das cidades da região da Grande João Pessoa, há incidência de pequenas e médias indústrias que são abastecidas a partir da rede de distribuição da CAGEPA, constituindo assim o que se denomina de abastecimento urbano, que induz a uma taxa de 300 l/hab/dia, para a grande João Pessoa.

Desta forma, as demandas hídricas puderam ser estimadas para cada município, nas suas respectivas áreas urbana e rural, e para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2020. As Tabelas 2.14 e 2.15 resumem os valores assim determinados, inclusive com apuração dos totais gerais das bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 2.14 – Demandas hídricas para o abastecimento da população urbana nos horizontes de projeto.

Municípios	Demanda em 2000 (l/s)	Demanda em 2005 (l/s)	Demanda em 2010 (l/s)	Demanda em 2020 (l/s)
Bayeux	328,46	360,16	389,00	436,69
Cabedelo	146,23	177,42	212,70	292,16
João Pessoa	2.158,42	2.407,69	2.648,93	3.066,95
Conde	13,92	16,77	19,98	27,35
Pedras de Fogo	23,53	23,30	22,82	21,25
Várzea Nova	52,00	57,94	62,69	69,59
Total	2.722,57	3.043,28	3.356,13	3.914,00

Tabela 2.15 – Demandas hídricas para o abastecimento da população rural nos horizontes de projeto.

Município	Demanda em 2000 (l/s)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,28	1,18	0,00	1,01
Conde	1,54	0,70	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,10	0,00
João Pessoa	0,00	0,92	0,79	0,00
Santa Rita	0,00	0,57	1,78	0,90
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,29	1,47	1,21
TOTAL	1,82	5,66	4,20	3,12
Município	Demanda em 2005 (l/s)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,32	1,33	0,00	1,14
Conde	1,85	0,84	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,11	0,00
João Pessoa	0,00	1,10	0,95	0,00
Santa Rita	0,00	0,65	2,01	1,02
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,27	1,45	1,19
TOTAL	2,17	6,19	4,58	3,35
Município	Demanda em 2010 (l/s)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,36	1,49	0,00	1,27
Conde	2,21	1,00	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,11	0,00
João Pessoa	0,00	1,31	1,13	0,00
Santa Rita	0,00	0,72	2,24	1,14
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,22	1,43	1,17
TOTAL	2,57	6,75	4,97	3,58

Tabela 2.15 – Demandas hídricas para o abastecimento da população rural nos horizontes de projeto (continuação).

Município	Demanda em 2020 (l/s)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,43	1,79	0,00	1,53
Conde	3,02	1,37	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,11	0,00
João Pessoa	0,00	1,80	1,55	0,00
Santa Rita	0,00	0,87	2,69	1,36
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,07	1,33	1,09
TOTAL	3,45	7,90	5,74	3,98

### 2.8.2 - Abastecimento Industrial

Como já foi dito anteriormente, as pequenas e médias indústrias que se encontram no perímetro urbano têm seus consumos d'água já incluídos na demanda para abastecimento humano, atendida pela CAGEPA. As demais que não se incluem neste perímetro são abastecidas por poços. A única exceção diz respeito à agroindústria GIASA que foi considerada, neste estudo, como um irrigante.

### 2.8.3 – Irrigação

As demandas hídricas para a irrigação na bacia hidrográfica do rio Gramame foram determinadas de acordo com o levantamento de áreas irrigadas na região, tomando como base o cadastro dos irrigantes extraído de SEMARH (2000a), e a metodologia de FILGUEIRA & SILVA NETO (1999), que se baseia nas necessidades da planta por período de crescimento vegetativo, estabelecendo coeficientes mensais de

cultivo. A aplicação dessa metodologia se fez necessária devido ao fato de que, em sua grande maioria são os próprios irrigantes que elaboram os seus projetos de irrigação. E mesmo aqueles que tiveram os seus projetos de irrigação elaborados por empresas especializadas, não manejam corretamente os seus sistemas.

O primeiro passo da metodologia aplicada foi a verificação dos dados cadastrais dos irrigantes, quais as culturas irrigadas e suas respectivas áreas. Em seguida, de acordo com os dados da Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), foi verificado que os meses de setembro a fevereiro constituem o período que apresenta o menor índice pluviométrico na bacia do rio Gramame. Baseado nas necessidades hídricas médias, por período de crescimento vegetativo, de cada cultura irrigada na bacia, foram estabelecidos os coeficientes médios mensais de cultivo.

A evapotranspiração potencial (ETP) utilizada foi a calculada pelo método de Hargreaves e encontrada na Tabela 2.4.

Multiplicando os valores dos coeficientes médios de cultivo pelos valores da ETP, ajustados temporalmente ao período de menor índice pluviométrico na bacia, nesse caso de setembro a fevereiro, obtém-se a necessidade hídrica diária da cultura. Neste cálculo foi admitido um rendimento hidráulico médio dos sistemas de irrigação usados de 0,6.

Os Anexos A.1 a A.4 apresentam as demandas estimadas para cada irrigante, totalizadas por sub-bacias, resumidas na Tabela 2.16.

Não foi previsto crescimento da demanda para irrigação nos demais horizontes, tendo em vista que a demanda atual (abastecimento + irrigação) já não é suprida na sua totalidade pela bacia. Desta forma, um estudo de crescimento destas demandas seria um absurdo sabendo que, de acordo com a Lei Federal 9.433/97, a irrigação não é considerada um uso prioritário.

Tabela 2.15 – Demandas hídricas para irrigação na bacia do rio Gramame.

Sub-bacia	Demandas em $10^3 \text{m}^3/\text{ano}$
Água Boa	826,25
Gramame	13.540,20
Mumbaba	5.694,95
Mamuaba	9.149,43

#### 2.8.4 - Dessedentação de Animais

Da publicação anual do IBGE “Produção da pecuária municipal” dos anos de 1979 a 1997, constata-se que neste período, o Estado da Paraíba enfrentou estiagens prolongadas, ocasionando desfalques significativos nos efetivos pecuários, e além deste fato acrescentam-se os problemas de natureza econômica, que pela crise financeira no setor, obrigou os pecuaristas a venderem em larga escala seus rebanhos. Desta forma, vê-se que esta demanda é insignificante, e o pouco consumo que existe é suprido por poços e pequenos barreiros.

### **3 – DISCRETIZAÇÃO DA BACIA E DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE CÁLCULO**

Como ressalta LANNA (1988) apud LUZ (1994), o uso múltiplo dos recursos hídricos não é uma opção que faz o planejador, mas uma realidade que ele enfrenta com o desenvolvimento econômico. O planejamento integrado se impõe diante dessas situações evidentes. A bacia hidrográfica constitui-se na unidade consagrada deste planejamento sob o ponto de vista hidrológico, no entanto, considerações de ordem econômica e social e mesmo a intervenção humana nos recursos hídricos, em dada área, refletem em posições a jusante da mesma ou até mesmo em bacias vizinhas.

Diante deste fato e da multiplicidade de usuários, os estudos das possibilidades de uso da água na região da bacia do rio Gramame foram desenvolvidos considerando o uso múltiplo e integrado, procurando compatibilizar o uso integrado da água para fins conflitantes como são, principalmente, os casos da irrigação e do abastecimento humano.

Dessa maneira, a bacia foi concebida como um sistema formado por sub-bacias, as quais dizem respeito aos cursos d'água, os denominados pontos de cálculo (PC). Estes se referem a locais de captação hídrica para sistemas de irrigação existentes ou projetados, locais de captação para abastecimento de indústrias existentes ou previstas, captações para abastecimento de cidades e povoados, açudes existentes ou projetados e, por fim, confluências de rios. Trata-se da adoção de uma representação espacialmente simplificada da bacia hidrográfica, de acordo com a rede de drenagem e com a localização das captações ou do uso "in situ" da água. Por meio desta é suposto que o uso de água se faça apenas nos pontos específicos da rede de drenagem. Isto permite a redução dos

balanços hídricos a serem realizados para confronto entre as disponibilidades naturais de água e os usos ao longo da rede de drenagem da bacia.

SILVEIRA (1993), apud SILVEIRA et al. (1998), propõe que estes pontos de cálculo sejam também de gerenciamento, possuindo réguas limnimétricas com níveis de alerta a serem considerados para o caso de racionamento de água aos demais usuários do rio.

A bacia é considerada, para fins de layout, como sendo composta por sub-bacias, onde cada sub-bacia incremental é relacionada a um ponto de cálculo (PC) sendo atribuído um identificador numérico ao mesmo. Estes números foram escolhidos de forma a facilitar a identificação dos mesmos no modelo AÇUMOD, o qual será utilizado para avaliar as disponibilidades hídricas naturais em cada ponto.

Segundo LANNA (1999), não existe critério geral para agregação das captações em PC's. A proximidade das captações é a única orientação. Em certos casos, grandes usuários poderão determinar a definição de PC exclusivo. Via de regra, vários usuários estarão agregados.

De acordo com estas recomendações foram determinados os PC's para a bacia do rio Gramame, considerando os maiores usuários de água da bacia, assim como, as demandas difusas, de pequena monta e disseminadas pela sub-bacia, que por sua vez foram agrupadas em PC's específicos. Dessa forma, considerando inclusive as demandas pequenas e difusas, busca-se representar o mais real possível a grandeza das demandas na bacia.

Na Tabela 3.1 são identificados e apresentados os PC's da bacia do rio Gramame.

Mais adiante, no Capítulo 5, serão estabelecidas as prioridades dos usos e das demandas de água a serem outorgadas, pensando nisto alguns PC's, os que correspondiam às irrigações difusas, foram sub-divididos de acordo com o tipo de cultura. As irrigações difusas de cana-de-açúcar receberam o sub-escrito "b", e as demais irrigações receberam o sub-escrito "a", como se pode ver na Tabela 3.2 e na Figura 3.1.

Tabela 3.1 – Identificação dos pontos de cálculo

Número do PC	Ponto Estratégico
42	Irrigação Difusa no rio Mumbaba
43	Captação Cagepa (Mumbaba)
68	Irrigação Difusa no rio Mumbaba
79	Irrigação Difusa no rio Mumbaba
132	Captação Cagepa (Gramame)
132	Irrigação Difusa no rio Gramame
133	Irrigação Difusa no rio Água Boa
136	Irrigação Difusa no rio Água Boa
158	Irrigação Difusa no rio Mumbaba
185	Irrigação Difusa no rio Mamuaba
194	Captação Cagepa (Conde)
219	Irrigação Difusa no rio Mamuaba
265	Irrigação Difusa no rio Gramame
302	Irrigação Difusa no rio Gramame
328	Captação Indústria Giasa
346	Irrigação Difusa no rio Gramame
347	Captação Cagepa (Pedras de Fogo)



Tabela 3.2– Sub-divisão dos pontos de cálculo considerando prioridades

Número do PC	Ponto Estratégico
42a	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
42b	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Não Prioritária)
43	Captação Cagepa (Mumbaba)
68	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
79	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
132	Captação Cagepa (Gramame)
132a	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
132b	Irrigação Difusa no rio Gramame (Não Prioritária)
133	Irrigação Difusa no rio Água Boa (Prioritária)
136	Irrigação Difusa no rio Água Boa (Prioritária)
158	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
185a	Irrigação Difusa no rio Mamuaba (Prioritária)
185b	Irrigação Difusa no rio Mamuaba (Não Prioritária)
194	Captação Cagepa (Conde)
219	Irrigação Difusa no rio Mamuaba (Prioritária)
265	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
302a	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
302b	Irrigação Difusa no rio Gramame (Não Prioritária)
328	Captação Indústria Giasa
346a	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
346b	Irrigação Difusa no rio Gramame (Não Prioritária)
347	Captação Cagepa (Pedras de Fogo)

# BACIA DO RIO GRAMAME

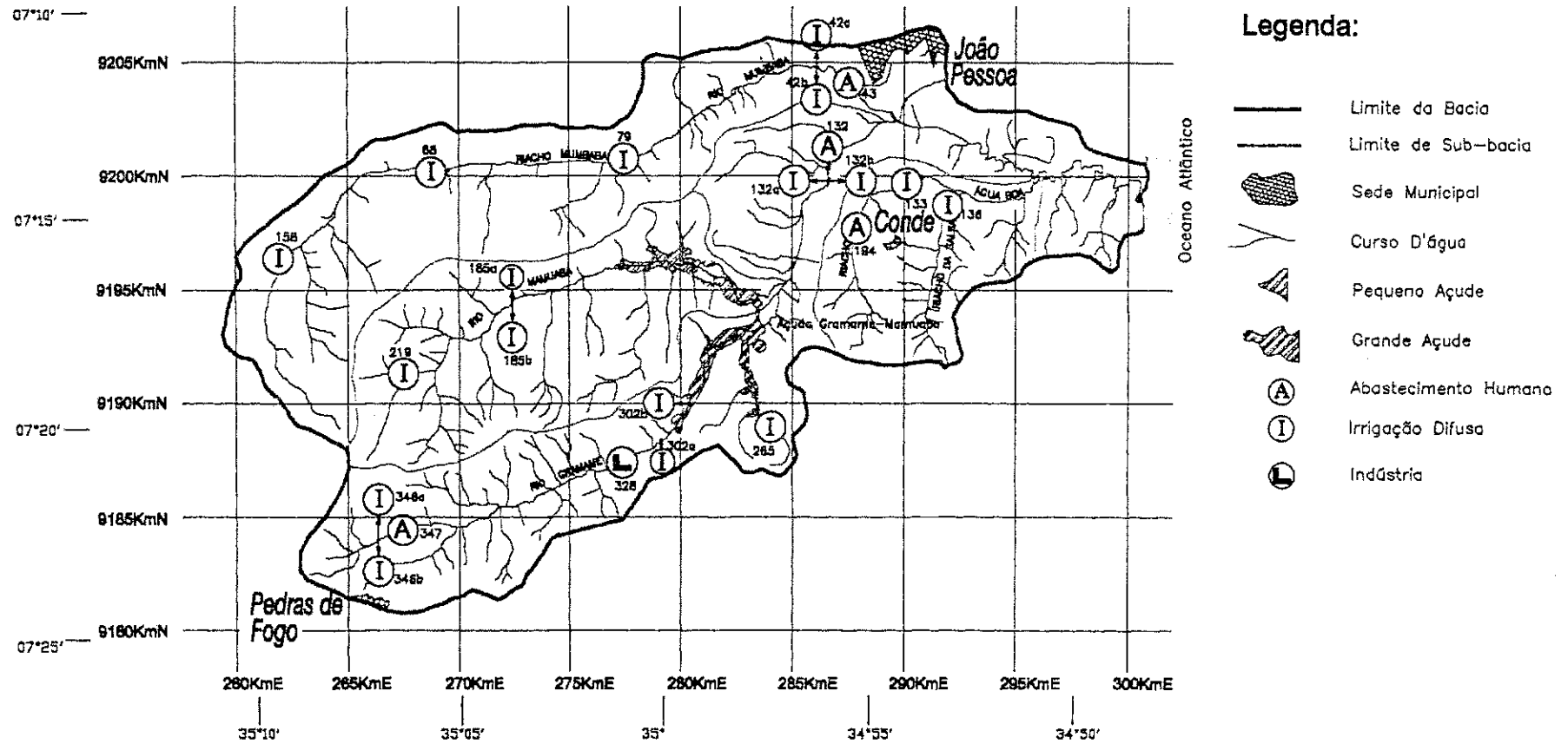


Figura 3.1 - Localização dos Pontos de Cálculo da bacia do rio Gramame

## 4 – AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS NATURAIS

### 4.1 – Introdução

Na maioria das bacias e sub-bacias hidrográficas no Brasil e ainda mais especificamente na região Nordeste, as séries históricas de vazões disponíveis são curtas, pouco representativas da distribuição espacial das vazões e muitas vezes perturbadas por açudes ou obras a montante no curso d'água. O contrário ocorre com as informações relativas às precipitações que são mais bem distribuídas no espaço, e, freqüentemente representam séries relativamente longas. Desta forma, a estimativa das disponibilidades hídricas requer estudos hidrológicos diversos visando aprimorar o conhecimento da hidrologia da bacia em estudo, através da extensão das informações fluviométricas disponíveis na bacia. Neste processo são utilizadas técnicas de geração de séries pseudo-históricas de vazões através do uso de modelos de transformação chuva-vazão e eventualmente extensão dessas séries por modelização estocástica.

Os estudos efetuados neste capítulo estão divididos em três partes:

- Geração sintética de séries pseudo-históricas de vazão naturais utilizando modelo de transformação chuva-vazão;
- Geração sintética de séries longas de vazão natural por modelo estocástico, e;
- Determinação das vazões de referência, critério utilizado para a outorga, a partir das curvas de permanência.

As duas primeiras etapas têm por objetivo fornecer a necessária compreensão do regime hidrológico da bacia, assim como todas as informações necessárias para a avaliação das disponibilidades naturais da bacia.

#### 4.2 – Geração Sintética de Séries Pseudo-Históricas de Vazão Utilizando Modelo de Transformação Chuva-Vazão

##### 4.2.1 – Explicação Global dos Modelos Hidrológicos

A crescente complexidade dos problemas de planejamento e gestão de recursos hídricos, principalmente durante situações de escassez quantitativa de água, aliada à necessidade de uma melhor interpretação dos fenômenos que regem o ciclo hidrológico e à escassez de medições de dados hidro-climáticos em bacias hidrográficas requer a utilização de técnicas e instrumentos capazes de auxiliar profissionais responsáveis pela análise, operação, planejamento e tomada de decisão em recursos hídricos. Invariavelmente todas estas técnicas oferecem o potencial de gerar soluções para problemas complexos, respeitando as condições de contorno impostas pela realidade física dos sistemas analisados, ou por condicionantes de ordem legal, econômica, ambiental ou social de cada situação particular.

Os modelos de simulação matemática em recursos hídricos têm hoje aplicação irrestrita em diversas áreas tais como:

- Quantificação dos processos do ciclo hidrológico;
- Análise da qualidade das águas em rios, reservatórios e nos aquíferos subterrâneos;
- Nos processos hidráulicos do escoamento da água em rios, mares e subsolo, e;
- Nos processos ambientais e meteorológicos.

Constata-se ainda que países como a França e EUA, direcionam muitos de seus estudos para essa área da Hidrologia, dada a importância dos modelos matemáticos

para gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Sendo assim, verifica-se que a preocupação com o desenvolvimento e melhoramento dos modelos não é uma questão apenas de países com escassez de dados fluviométricos.

Vê-se portanto que a simulação matemática é, sem dúvida, a técnica mais flexível e amplamente utilizada no setor de recursos hídricos e foi através dela que se iniciou a utilização de computadores para a análise de sistemas de recursos hídricos, no final da década de 50, com a elaboração do Stanford Watershed Model (SWM) desenvolvido por LINSLEY & CRAWFORD (DINIZ, 1994).

Os modelos matemáticos procuram simular e entender um determinado sistema através de equações matemáticas formadas por variáveis e parâmetros. Estes tipos de modelo podem ser determinísticos e estatísticos. Os determinísticos se dividem em empíricos e conceituais, enquanto os estatísticos se dividem em probabilísticos, estocásticos e de regressão e correlação.

Os modelos determinísticos empíricos procuram representar determinado fenômeno por uma equação matemática, quando não se conhecem os mecanismos que regulam o processo, diferentemente dos determinísticos conceituais, nos quais os processos são simulados por funções e reservatórios, mesmo que não se conheça a relação entre os diversos processos envolvidos. Os conceituais se dividem ainda em lineares e não lineares, e em concentrados e distribuídos. A primeira classificação é feita de acordo com as equações utilizadas para a simulação, sendo que, no equacionamento dos lineares os termos das equações dependem apenas de uma variável, esta expressa com um expoente unitário. Já a segunda classificação diz respeito ao tipo de parâmetro. Os modelos conceituais com parâmetros concentrados são descritos por equações diferenciais totais, de modo que as funções de entrada e saída dependem somente do tempo. Os modelos conceituais com parâmetros distribuídos são descritos por equações parciais, sendo possível descrever, de forma compreensível, a heterogeneidade espacial não somente destes parâmetros como também das variáveis de entrada e saída (DINIZ, 1994).

Um estudo visando comparar as potencialidades dos diversos tipos de modelos de simulação chuva-vazão foi feito por CHIEW et al. (1993), no qual foram utilizados 6 modelos, aplicados em 8 bacias da Austrália de áreas distintas e características hidro-climáticas bem diferentes, as quais variavam de áridas a úmidas. CHIEW et al, op cit, concluíram que apenas 2 dos 6 modelos, ambos conceituais, eram adequados. O modelo que tinha a estrutura mais complexa foi o melhor para a geração de séries diárias, em

bacias com vazões de baixa magnitude, assim como, na geração de séries mensais, uma vez que simulou adequadamente as vazões mensais em quase todas as bacias, com exceção apenas da bacia de clima árido, em que menos de 1% da precipitação anual se transforma em escoamento superficial.

Outro estudo, realizado por XU & SINGH (1998), desenvolvido com o objetivo de realizar uma revisão sobre a utilização de modelos a nível mensal, mais precisamente sobre o estado da arte, as suposições e limitações destes modelos, bem como suas aplicações, permite ressaltar algumas considerações:

-Deve-se ter uma relativa precaução na utilização dos modelos mensais, que têm como dado de entrada a precipitação e a evapotranspiração, sendo esta última calculada como uma fração da precipitação, e o resto da chuva dividido empiricamente em infiltração e/ou escoamento direto;

-ALLEY (1984), apud XU & SINGH (1998), concluiu que os modelos conceituais com passo de tempo mensal, que procuram simular o ciclo hidrológico através de 2 reservatórios e têm como dados de entrada a precipitação e a temperatura (utilizada para o cálculo da evapotranspiração pelo método de Thornthwaite), são bons para simular vazões anuais, mas não são tão bons para a simulação das vazões mensais;

-Os modelos que dependem de mais de 8 parâmetros para serem calibrados, são criticados pelo elevado número de parâmetros e pelas suas estruturas, também consideradas complexas. VANDEWIELE et al. (1992), propuseram uma série de modelos modificados a partir do modelo de simulação mensal desenvolvido por VAN DER BEKEN & BYLOOS (1977), dependentes, em geral, de 3 parâmetros, e alguns de até 4 parâmetros, estes modelos foram aplicados com sucesso em quase 100 bacias hidrográficas da Bélgica;

-Os modelos conceituais, com passo de tempo diário, que geram vazões mensais e utilizam dados diários de precipitação e evapotranspiração potencial, representam melhor a estimativa dos processos de infiltração, evapotranspiração, interceptação e armazenamento em depressões, em contrapartida, a utilização destes dados diários aumenta consideravelmente o trabalho de preparação dos mesmos;

-Os modelos com embasamento físico são pouco utilizados uma vez que necessitam de grande quantidade de dados com alta resolução, temporal e espacial, o que é de difícil disponibilidade. Por sua vez, os modelos empíricos, também denominados de “caixa preta”, embora muito utilizados não são indicados para estudos de avaliação dos impactos

causados pelas mudanças climáticas, uma vez que os seus parâmetros refletem a relação atual entre o clima e a resposta hidrológica;

-Constata-se a partir deste estudo que um dos principais objetivos dos modelos conceituais mensais é a sua aplicação em bacias hidrográficas sem monitoramento, com a finalidade de gerar séries sintéticas de vazões necessárias ao planejamento;

-Os pesquisadores afirmam ainda que os modelos que dependem de 3 a 5 parâmetros são ideais para simular o ciclo hidrológico em regiões úmidas, o que não se pode dizer dos modelos de estrutura complexa aplicados em regiões áridas e semi-áridas.

Uma outra pesquisa realizada por MEHROTRA & SINGH (1998), procurou avaliar a estrutura de 6 modelos mensais, aplicados a 12 bacias hidrográficas de comportamento climático diferente localizadas na Índia Central com áreas variando de 85 a 4980 km<sup>2</sup>. Dentre os 6 modelos escolhidos, 1 era do tipo estatístico e os demais do tipo determinístico conceitual. Dois destes consideram 1 reservatório (reservatório solo) e os outros 3 considerando também o reservatório subterrâneo. Desta forma, para avaliar estes modelos foram utilizados 2 critérios, a comparação entre as curvas de garantia geradas e a comparação entre as vazões simuladas e observadas através de uma função objetivo, resultando na seguinte conclusão: Os modelos tiveram igual performance para as regiões úmidas, porém, para as regiões áridas e semi-áridas, os 2 modelos, aqueles com mais parâmetros e com 2 reservatórios em suas estruturas, se mostraram mais adequados a estas regiões, devido, principalmente, ao número de parâmetros que permitem simular melhor o ciclo hidrológico.

Recentemente, segundo SCHAAKE & LIU (1989) e ARNALL (1992) apud XU & SINGH (1998), os modelos hidrológicos vêm sendo empregados para estudar os impactos causados pelas mudanças climáticas. Assim, muitos modelos são implementados com sub-modelos de forma a torná-los mais abrangentes. É o caso do modelo MODCOU, que associado ao modelo físico de circulação atmosférica ISBA (Interface Soil Biosphere), foi aplicado na bacia de Adour, França. Esta aplicação mostrou que a integração do ISBA com o MODCOU apresentou uma melhora na simulação do balanço hídrico e no balanço energético do solo, tanto que, para a calibração, foram utilizadas medições fluviométricas de um ano considerado normal, do ponto de vista climatológico, e, para a validação, foram utilizados dados fluviométricos de outro ano considerado como sendo seco (LEDOUX et al., 1989; GIRARD, 1974 apud HABETS et al., 1999).

A partir dos estudos citados acima, pode-se constatar que no exterior os modelos conceituais são os mais utilizados para simular o ciclo hidrológico em bacias hidrográficas - variando apenas na concepção de sua estrutura e nos números de parâmetros - e principalmente os conceituais distribuídos, por considerarem em suas estruturas a distribuição espacial e temporal das informações que influenciam os processos de geração do escoamento superficial.

Não obstante a realidade no exterior, os primeiros modelos brasileiros surgiram no início da década de 80 e foram modelos do tipo conceitual de transformação chuva-vazão. LOPES et al. (1981) publicaram um artigo descrevendo a estrutura do conhecido modelo SMAP, bem como a sua aplicação a algumas bacias. Segundo os autores, o modelo tem uma estrutura relativamente simples e opera com dados de precipitação diária e médias mensais de evaporação potencial. O modelo encontra-se fundamentado em 3 reservatórios lineares que representam a superfície e as zonas não-saturadas e saturadas do solo, nos quais é processado o balanço da umidade do solo. O modelo utiliza a equação de escoamento superficial do Soil Conservation Service (SCS) para o cálculo da chuva excedente e é formado por poucos parâmetros, os quais são facilmente definidos em função do tipo de solo e cobertura vegetal.

O SMAP foi aplicado por LOPES et al. (1981) a quatro bacias, três destas localizadas no Estado de São Paulo e a quarta bacia localizada no Estado da Paraíba. Esta última bacia foi escolhida com o objetivo de avaliar o comportamento do modelo em condições extremas, típicas do Nordeste Brasileiro (altas taxas de evaporação potencial e pouca pluviosidade). Nos resultados obtidos, diferenças entre os valores mensais calculados e observados foram em geral menores que 20%, sendo assim considerados satisfatórios, levando-se em consideração as incertezas inerentes aos dados hidrológicos básicos. Ao final do estudo, os autores, apesar de naquela época ainda não terem sido realizados muitos testes, recomendavam a utilização do SMAP em bacias hidrográficas com área de drenagem inferior a 1000 km<sup>2</sup>, isto em função da elevada variabilidade espacial da precipitação.

Outro modelo pioneiro no Brasil foi o SIMMEQ (DNAEE, 1983a), modelo hidrológico distribuído desenvolvido pela ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) e utilizado pelo DNAEE (Departamento de Nacional de Águas e Energia Elétrica) na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (DNAEE, 1983b). A escolha



desta bacia se deu em função da significativa ocorrência de conflitos devido aos múltiplos usos de seus recursos hídricos.

Através desse modelo, pode-se simular, espacial e temporalmente, os deflúvios de um conjunto de bacias, a partir dos dados de precipitação, das características fisiográficas e das regras de operação dos aproveitamentos hidráulicos existentes (CEOTO et al., 1983). Ainda, segundo CEOTO et al. (1983) os principais objetivos do SIMMEQ eram:

- Avaliação da viabilidade de projetos de barragens, derivações e transferências de água para outra bacia;
- Controle da qualidade dos dados básicos;
- Elaboração de séries fictícias de dados em sub-bacias não equipadas com postos de medição;
- Reconhecimento das alterações do regime hidrológico, tais como ações intensivas de desmatamento ou reflorestamento e planificação do uso do solo.

O SIMMEQ encontra-se fundamentado na realização da modelação chuva-deflúvio, em malhas quadradas, através de um conjunto de quatro reservatórios. Segundo CEOTO et al. (1983), os dois conceitos fundamentais que orientaram o desenvolvimento do modelo foram:

- A discretização espacial da bacia hidrográfica;
- A representação matemática das diferentes etapas do ciclo hidrológico.

Na aplicação do SIMMEQ à bacia do Rio Paraíba do Sul, a caracterização fisiográfica da bacia realizada considerou os seguintes usos de tipos de solo:

- Pântanos ou culturas de alagados;
- Florestas;
- Campos (vegetação natural não florestal);
- Culturas permanentes ou temporárias;
- Zonas sedimentares;
- Concentração urbana;
- Superfície livre de água;

No estudo de CEOTO et al. (1983) foram utilizados 70 postos pluviométricos para a determinação das zonas de pluviometria consideradas homogêneas, através do método de Thiessen. Para a espacialização da evapotranspiração potencial utilizou-se um total de 19 postos. Também foram caracterizadas as grandes obras

hidráulicas, as pequenas barragens, as áreas irrigadas e os sistemas de abastecimento das cidades (DNAEE, 1983b).

Dentre os principais resultados obtidos desta aplicação, quatro merecem destaque (DNAEE, 1983b):

-Vazões calculadas relativas à simulação da situação real considerando-se a caracterização fisiográfica existente e a influência dos aproveitamentos hídricos. Estas se mostraram, de uma forma geral, excelentes, visto que, em termos de volumes totais escoados as variações percentuais situaram-se na maior parte entre 0 e 6%;

-Vazões naturais geradas relativas à simulação sem que fossem consideradas as represas e transferências de água. Tal aplicação objetivou o conhecimento do comportamento da bacia, sem a presença de obras hidráulicas que afetam o regime hidrológico;

-Vazões calculadas com base no macro-zoneamento proposto pelo Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEEIVAP). Esta aplicação tem o intuito de apresentar uma idéia a respeito das possíveis alterações quantitativas no regime hídrico em função das modificações propostas ao uso do solo. A principal finalidade desta aplicação foi simular as condições de uso do solo de forma a fornecer parâmetros para avaliação do impacto decorrente dessas mudanças;

-Vazões calculadas com alterações na caracterização fisiográfica. Dois estudos foram desenvolvidos, a título de ilustração, objetivando a verificação das variações do comportamento da bacia. No primeiro, considerou-se uma situação de grande permeabilidade, cobertura vegetal densa e conseqüente retenção de água no solo. Na segunda etapa, foi simulado o caso inverso: grande impermeabilização e pequena retenção, situação semelhante à existente em regiões urbanizadas. Os resultados demonstraram grandes variações, o que denota a influência da fisiografia nos valores finais de descarga.

O AÇUMOD (SILANS et al., 1998), modelo escolhido nesta pesquisa para gerar as séries pseudo-históricas de vazões, é um aperfeiçoamento e adequação do SIMMEQ para regiões semi-áridas.

Outro modelo hidrológico de uso consolidado no Brasil é o Modelo Hidrológico Auto Calibrável – MODHAC, o qual teve sua primeira versão apresentada por SCHWARZBACH & LANNA (1989). Este modelo concentrado, do tipo chuva-vazão, teve seu desenvolvimento para ser aplicado tanto a bacias do semi-árido Nordeste quanto para regiões de clima temperado úmido do Sul do Brasil. Desta forma, presume-se que esse modelo possa ser aplicado a bacias de características diversas, não importando os aspectos

climáticos, pedológicos, topográficos, geológicos e de cobertura vegetal existentes (SCHWARZBACH & LANNA, 1989).

O MODHAC simula a fase terrestre do ciclo hidrológico, encontrando-se conceitualizado em três reservatórios fictícios que procuram simular a água armazenada nas regiões superficial, subsuperficial e subterrânea. Ele tem como principal característica a possibilidade da determinação automática de seus parâmetros através de uma técnica de otimização, a qual procura ajustar as vazões calculadas às observadas.

Apesar deste modelo ter seu uso bastante difundido entre profissionais da área de recursos hídricos, os próprios autores apresentaram algumas críticas sobre sua concepção. O ponto mais importante encontra-se na pretensão de simular os processos hidrológicos sem consideração de sua variabilidade espacial, resultante da heterogeneidade das características topográficas, pedológicas, geológicas e de cobertura vegetal das bacias hidrográficas.

Uma recente aplicação do MODHAC diz respeito a sua utilização para a geração de séries temporais de deflúvios naturais no âmbito do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (SCIENTEC, 1998). Neste estudo, o MODHAC foi utilizado para a geração de vazões mensais. O grande problema enfrentado para a realização desse estudo refere-se à má qualidade dos dados existentes (curta extensão das séries observadas, ocorrência de diversas falhas de observação e postos instalados a jusante de reservatórios de porte e funcionando após o início da operação daqueles, sendo, portanto, todos os registros influenciados pelo reservatório), à existência de uma bacia não monitorada e à pequena disponibilidade de dados.

O Tank Model (SUGAWARA, 1973 apud GÓIS et al., 1996) é outro modelo conceitual concentrado o qual, ainda que não seja muito utilizado no Brasil, tem-se mostrado bastante eficiente na transformação de chuva em vazão. Tanto é que, um estudo comparando-se sete modelos bem difundidos mundialmente, o modelo Tank Model foi classificado como um dos melhores, apresentando vantagens sobre o STANFORD IV, SACRAMENTO, APIC, SSARR, XINANJIANG, ficando a desejar apenas quando comparado ao ARNO (DINIZ, 1994).

O modelo Tank Model procura simular o ciclo hidrológico através de um conjunto de reservatórios fictícios, os quais são arrançados em função dos extratos do solo da bacia com suas respectivas propriedades de retenção e transferência da água.

Dentre os principais estudos realizados com o Tank Model, vale ressaltar dois. O primeiro refere-se ao estudo de DINIZ (1994) que auto calibrou e aplicou a bacias de diferentes climas, os modelos SMAP, Tank Model e SWM. Quando da aplicação destes modelos, verificou-se que a performance do segundo modelo iguala-se a dos outros dois. O segundo estudo diz respeito à aplicação desse modelo para a avaliação das potencialidades da bacia do Rio do Peixe, no âmbito do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (SEPLAN, 1996).

Um outro modelo conceitual concentrado, também com freqüente utilização no Brasil, é o IPH II (TUCCI et al., 1981, apud SANTOS & MENESES FILHO, 1998). Este modelo, segundo a literatura pesquisada, tem seu uso marcante para a previsão e estudos de cheias em bacias urbanas. O modelo é formado por três algoritmos que consideram respectivamente (SANTOS & MENESES FILHO, 1998):

- As perdas por interceptação e evaporação, através de uma relação entre a evaporação potencial e a umidade do solo;
- A separação do escoamento, através da aplicação da equação da continuidade à parcela correspondente à camada superior do solo. Determinação da infiltração pela equação de Horton, e da percolação por uma relação empírica;
- A propagação dos escoamentos superficial e subterrâneo pelo método de Clark, o qual baseia-se no histograma tempo-área e no modelo do reservatório linear simples.

De acordo com TUCCI (1987), o IPH II é um modelo de fácil manejo devido ao reduzido número de parâmetros, que são seis. Ainda com o intuito de facilitar a utilização deste modelo, GERMANO et al. (1998) apresentaram uma estimativa dos seus parâmetros para 28 bacias urbanas de seis cidades brasileiras.

O modelo NAVMO, desenvolvido no Instituto de Recursos Hídricos da Universidade de Bundeswehr, Munique, Alemanha. (KLEEBERG et al., 1989, apud FIGUEIREDO et al., 1998), também vem sendo aplicado no Brasil. Este modelo discretiza a bacia em sub-bacias onde a precipitação é transformada em escoamento total. A vazão total é formada pelas componentes do escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo, os quais são simulados por um sistema formado por dois reservatórios. O método do SCS é utilizado para avaliar o armazenamento de água nestes dois reservatórios.

FIGUEIREDO et al. (1998) aplicaram o NAVMO à bacia do Rio Piancó, localizada na região semi-árida do Estado da Paraíba, com o objetivo de verificar a influência da discretização da bacia (formação de células) no escoamento simulado através

do modelo distribuído. Segundo os autores, o estudo permitiu concluir que é pequena a influência do efeito da discretização da bacia sobre os parâmetros dos hidrogramas simulados, para as diferentes condições de discretização apresentadas.

Assim, como se pode constatar acima, a utilização de modelos conceituais concentrados no Brasil é bastante difundida. Apesar disto, vê-se que o Brasil está caminhando, possivelmente, na direção de um modelo adequado, passando, então, de modelos hidrológicos concentrados para os distribuídos. Esses ganhos, que se obtêm a partir da discretização da bacia, são notáveis na comparação de resultados das aplicações dos modelos, como se verificou nos estudos citados, pois estes possibilitaram uma série de avaliações que não seriam possíveis quando da utilização de modelos concentrados, uma vez que estes não consideram a variabilidade espacial das características que influenciam na geração de escoamentos superficiais.

Para consideração das informações espacializadas faz-se necessário discretizar a bacia hidrográfica. Segundo RIGHETTO (1998), um modelo hidrológico de transformação chuva-deflúvio é do tipo distribuído quando a bacia hidrográfica é subdividida em células. Estas células são de fundamental importância para os modelos hidrológicos distribuídos, pois nelas são caracterizadas as informações que influenciam na geração dos deflúvios. Em cada uma das células se realiza a simulação do ciclo hidrológico.

Quanto a questão da espacialização das informações, pode-se citar um estudo desenvolvido por SILVEIRA & DESBORDES (1999), que apresentaram um modelo hidrológico distribuído com poucos parâmetros com o objetivo de realizar as seguintes análises:

- Contribuição relativa das superfícies permeáveis suburbanas comparada com a contribuição das áreas urbanas;
- Verificação da qualidade da reprodução dos hidrogramas de cheia por mecanismos simples de translação e armazenamento na bacia;
- Verificação da importância da distribuição espacial da precipitação na simulação dos hidrogramas.

O modelo foi desenvolvido com 3 parâmetros e gera, automaticamente, um histograma tempo-área não linear (para a precipitação média) ao aceitar a entrada distribuída da precipitação. O processo de transferência se completa com o modelo do reservatório linear simples a fim de considerar os efeitos do armazenamento temporário do

escoamento. A produção hídrica é distribuída pela realização da separação dos escoamentos pixel a pixel nas áreas urbanas, considerando as taxas de impermeabilização. Nas áreas suburbanas foi considerada uma capacidade de infiltração do solo.

Neste modelo, a representação da bacia hidrográfica é feita por meio de uma malha com células quadradas, as quais representam a bacia e possibilitam o detalhamento espacial, através de planos de informação, sendo considerados os seguintes planos:

- Plano de drenagem;
- Plano de topografia;
- Plano de ocupação do solo;
- Plano de taxas de impermeabilização;
- Plano de isoietas.

A utilização deste modelo para estudar a questão da distribuição espacial da precipitação possibilitou aos autores destacar os seguintes resultados:

-Através da análise clássica da função objetivo de NASH & SUTCLIFFE (1970) apud SILVEIRA & DESBORDES (1999), observou-se que os resultados para a função objetivo, tanto para a chuva distribuída como para a chuva uniforme, foram bastante próximas. Segundo os autores, isto ocorreu pelo fato da chuva efetiva na bacia estudada ter sido freqüentemente semelhante nas áreas urbanas e rurais, mascarando a não linearidade da translação;

- Os conjuntos de parâmetros ajustados para os dois casos também foram semelhantes;
- A partir desse modelo, notou-se o quanto a modelagem distribuída é promissora na simulação de escoamentos urbanos com o uso da variabilidade espacial das informações.

MENDES (1996) apresentou os fundamentos para a integração de modelos hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas. Segundo WALLING (1983) apud MENDES (1996), existem muitas críticas com relação ao uso de modelos concentrados como forma de representar os processos hidrológicos. Há uma simplificação enorme ao se considerar a variabilidade espacial com sendo um valor médio. Para minimizar esses problemas, pode-se, então, utilizar a modelagem distribuída, porém, surgem outros problemas tais como a aquisição, manutenção e utilização de grande quantidade de dados referenciados geograficamente. E é neste contexto que a utilização integrada de SIG's e modelos distribuídos é importante, uma vez que por meio dos SIG's pode-se facilitar enormemente a manipulação e formação de banco de dados necessários à modelagem.

As simulações com este modelo geram informações na forma de mapas, representando a variabilidade espacial e temporal dos processos envolvidos. Assim, pode-se aproveitar os resultados para obter uma identificação de áreas com maiores demanda de água para irrigação, entre outras possíveis aplicações. Desta maneira, constata-se o quanto este tipo de sistema integrado é útil, pois através dele pode-se facilitar a identificação de problemas, bem como suas soluções, por meio de imagens.

Outro estudo mostrando que a integração de modelos distribuídos com ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento foi apresentado por ARAÚJO FILHO & MOURA (1998). O modelo OMEGA (ARAÚJO FILHO, 1992, apud ARAÚJO FILHO & MOURA, 1998), utilizado pelos autores, é do tipo distribuído e incorpora uma forte conceitualização física dos processos hidrológicos. Tal classe de modelos é uma das que mais necessita de dados de entrada, devido a sua conceitualização física. Para esse caso foi necessária a utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento para realizar o processamento de tais informações. Esse modelo foi aplicado a um sistema de controle e previsão de cheias do rio Capibaribe, localizado no Estado de Pernambuco, demonstrando o quanto é consistente a utilização conjunta de modelos e SIG's.

Por todas as razões expostas nos trabalhos pesquisados, aliadas ao objetivo final desta dissertação, busca-se nesta pesquisa alcançar os vários aspectos da utilização deste conjunto de ferramentas (consideração da espacialização das informações), utilizando, portanto, um modelo hidrológico distribuído com técnicas de SIG's, que é o caso do AÇUMOD (PAIVA et al., 1999; SILANS et al., 2000).

#### 4.2.2 – O Modelo AÇUMOD

##### 4.2.2.1 – Descrição do Modelo

O AÇUMOD é um modelo hidrológico distribuído que efetua o balanço hídrico dos açudes implantados na rede de drenagem da bacia hidrográfica, considerando as respectivas regras de operação dos mesmos. É uma adaptação do modelo SIMMQE (DNAEE, 1983a) desenvolvido pela ORSTOM e utilizado pelo DNAEE na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (DNAEE, 1983b). O AÇUMOD guarda a mesma estrutura que o SIMMQE, tendo simplificado e adaptado ao microcomputador os seus comandos de leituras assim como as entradas e saídas de dados. Além disto, algumas modificações foram introduzidas para torná-lo mais adaptado às regiões semi-áridas.

Neste modelo, o espaço geográfico da bacia hidrográfica é discretizado em uma malha retangular formada por quadriculas quadradas embutidas. Em cada quadricula, o ciclo hidrológico é representado por um modelo hidrológico conceitual, através de um conjunto de 4 reservatórios (Figura 4.1).

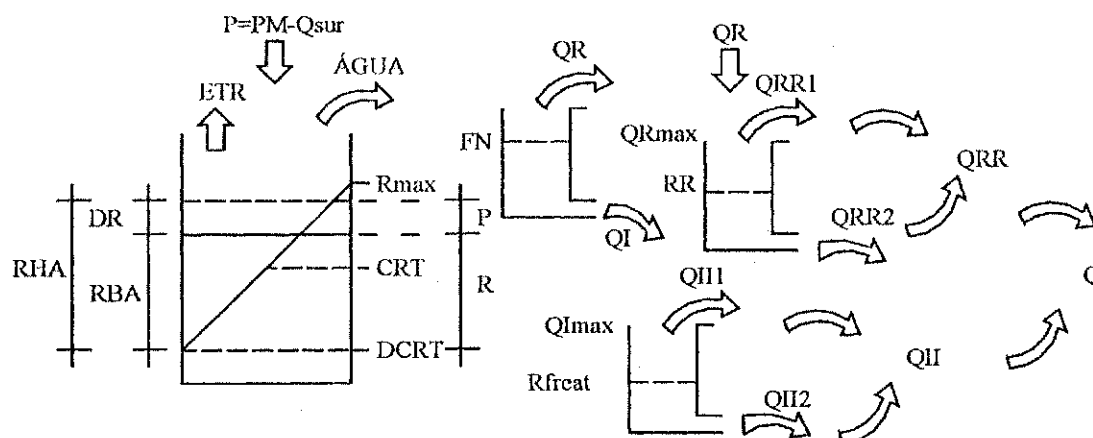


Figura 4.1 – Conjunto de reservatórios do AÇUMOD que simulam o ciclo hidrológico.

Para o conjunto de reservatórios que simulam o ciclo hidrológico definem-se os seguintes parâmetros:

PM – Precipitação bruta, em mm;

Qsur – Termo que representa o escoamento superficial direto;

ÁGUA – Quantidade de água disponível para gerar os escoamentos, em mm;



- ETR – Evapotranspiração potencial real, em mm;
- DR – Variação da quantidade de água no solo, em mm;
- RBA – Reserva útil de água no solo, antes da precipitação, em mm;
- RHA – Reserva útil de água no solo, depois da precipitação, em mm;
- Rmax – Reserva máxima de água no solo, acima do qual nenhuma água é retida no solo, em mm;
- P – Parte da precipitação que será utilizada para gerar a parcela ÁGUA, em mm;
- R – Reserva de água ao final de cada passo de tempo, em mm;
- CRT – Nível correspondente à capacidade média de armazenamento de água no solo, em mm;
- DCRT – Capacidade de armazenamento de água no solo, abaixo do qual não há escoamentos, em mm;
- FN – Função de infiltração;
- QR – Escoamento superficial, antes do retardamento no reservatório superficial;
- QI – Escoamento infiltrado;
- QRmax – Representa o nível transbordamento do reservatório de escoamento superficial, este nível estabelece a divisão entre escoamento puro e retardado.;
- RR – Representam o nível de água no reservatório de escoamento superficial no passo de tempo inicial, em mm;
- QRR1 – Componente que representa o escoamento superficial instantâneo;
- QRR2 – Componente que representa o escoamento superficial retardado em função nível RR;
- QRR – Componente que representa a soma das duas parcelas definidas anteriormente, na verdade representa o escoamento superficial após passar pelo reservatório superficial;
- QImax – Representa o nível de transbordamento do reservatório de alimentação do lençol, estabelecendo um retardamento entre a infiltração e a alimentação do lençol.;
- Rfreat – Representam o nível de água no reservatório subterrâneo no tempo inicial;

- QIII – Componente que representa o escoamento de base instantâneo;  
 QII2 – Componente que representa o escoamento de base retardado em função nível R<sub>freat</sub>;  
 QII – Componente que representa a soma das duas parcelas definidas anteriormente, na verdade representa o escoamento infiltrado após passar pelo reservatório subterrâneo;  
 Q – Lâmina escoada para uma determinada unidade hidrológica homogênea;

A discretização básica é formada de quadrículas-mãe de lado 'a', numeradas sequencialmente. Cada quadrícula pode ser subdividida em quadrículas menores de lado  $a/2$ ,  $a/4$ ,  $a/8$ , conforme mostrado na Figura 4.2. Uma quadrícula de lado  $a/2^n$  ( $n = 0, 1, 2$  ou  $3$ ) só pode ter como quadrícula vizinha uma quadrícula de mesmo tamanho,  $a/2^n$ , ou de tamanho imediatamente inferior,  $a/2^{n+1}$ , ou imediatamente superior  $a/2^{n-1}$ .

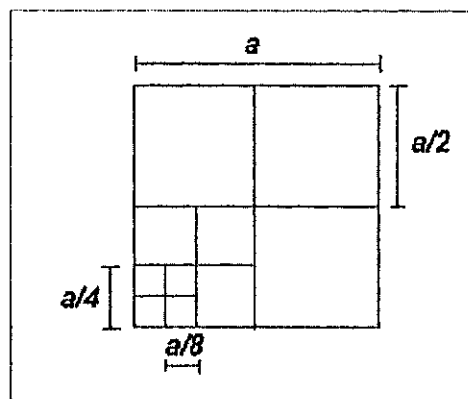


Figura 4.2 – Discretização das malhas

Em cada quadrícula são indicados parâmetros descritivos do ciclo hidrológico, assim como atributos para representar o sentido da drenagem e a possível existência de elementos da arquitetura hidráulica da bacia hidrográfica.

A cada quadrícula são atribuídos certos parâmetros:

- i. Altitude mínima - é obtida a partir da observação das cartas topográficas.
- ii. Sentido de drenagem - são 8 alternativas para o sentido de drenagem conforme mostrado na Figura 4.3, sendo que uma quadrícula obrigatoriamente drena para

outra na qual a altitude mínima é inferior. À quadrícula que corresponde ao exutório da bacia é atribuído o sentido genérico "Ex" de exutório.

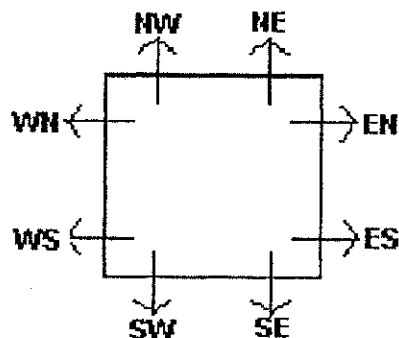


Figura 4.3 – Sentido de Drenagem

iii. Rio - são consideradas quadrículas "Rio", aquelas que fazem diretamente a ligação entre um elemento da estrutura hidráulica e outro. Às outras quadrículas não é atribuído este atributo.

iv. Zonas hidrológicas homogêneas - observando as cartas do solo, da vegetação (ou ocupação do solo), da geologia e eventualmente da topografia, desenha-se na bacia hidrográfica, zonas hidrológicas homogêneas (Figura 4.4). São zonas para as quais, a uma mesma chuva e mesma umidade inicial do solo, corresponde uma idêntica resposta hidrológica, ou seja, apresentam mesma função de produção de água. Superpondo com um Sistema de Informações Geográficas o mapa das zonas hidrológicas homogêneas e o mapa da bacia discretizada (Figura 4.4), atribui-se a cada quadrícula a percentagem de área de cada zona hidrológica homogênea nela contida.

v. Elementos da arquitetura hidráulica - a cada quadrícula pode ser atribuído, no máximo, um elemento da estrutura hidráulica. São considerados elementos da estrutura hidráulica os barramentos (açudes); as captações de água no rio; o local de recepção eventual de transposição de vazões de outras bacias hidrográficas; os postos fluviométricos e outros pontos onde se requer informações do modelo tais como ponto de futuros barramentos ou exutórios de sub-bacias.

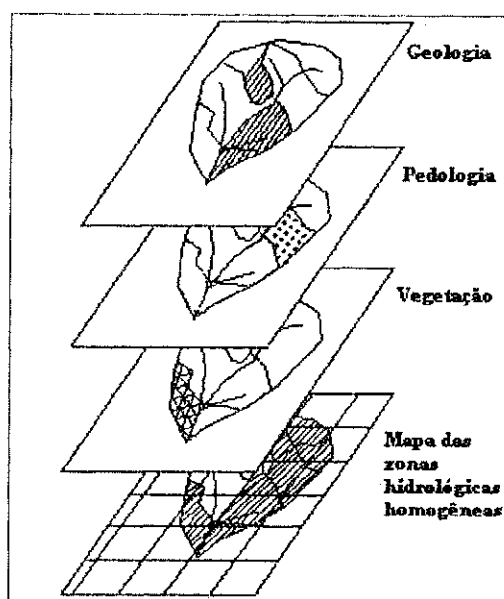


Figura 4.4 - Traçado das zonas hidrológicas homogêneas

Os açudes são classificados como sendo de ordem 1 ou 2. Os açudes de ordem 1 são os açudes pequenos em geral, nos quais não há retirada de água significativa e que não tem outro açude a montante. Os açudes de ordem 2 são aqueles que não entram nessa categoria. Para efetuar o balanço hídrico no açude a cada passo de tempo do modelo, é necessário informar a curva cota - área - volume do açude, assim como as cotas do vertedouro e a cota do porão. Além do mais, pode existir o caso onde o açude foi construído ou modificado durante o período da simulação, devendo-se informar a data da construção ou das eventuais modificações assim como as novas curvas cota - área - volume correspondentes.

As captações a fio d'água correspondem a pontos onde a água é retirada para abastecimento da população de núcleos urbanos, para indústrias e irrigação ou a pontos fictícios nos quais foram agrupados vários projetos de irrigação de menor porte.

No modelo, os pontos de captação ao longo do rio, assim como os pontos de transferências, os postos fluviométricos e os demais pontos da estrutura hidráulica são considerados como açudes de ordem 2, porém com uma curva cota-área-volume nula, ou seja com um único ponto  $[0, 0, 0]$ .

vi. Zonas pluviométricas - Definem-se as zonas pluviométricas sobre a bacia hidrográfica através do polígono de Thiessen. A cada quadricula é então associado o posto pluviométrico mais próximo.

O conjunto das operações discretização e implantação da estrutura hídrica permitem a formação de um banco de dados.

#### Modelização Matemática do Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é simulado na bacia hidrográfica através de três funções:

- Função de produção de água
- Função de transferência de água
- Função balanço hídrico nos açudes.

As variáveis de entrada do modelo são os valores de precipitação diária em cada posto pluviométrico utilizado para a definição das zonas pluviométricas e os valores de evapotranspiração potencial nestes mesmos pontos. Hargreaves (SUDENE, 1984) estima o valor de evapotranspiração potencial média diária mensal para a região Nordeste para a maioria dos municípios onde existem postos pluviométricos. A evapotranspiração potencial pode também ser calculada pela fórmula de Penman desde que dados estejam disponíveis, ou a partir de medições do tanque classe "A" efetuando a devida repartição espacial e multiplicando os valores observados pelo coeficiente de tanque.

#### i. A função produção de água

A finalidade desta função é repartir as precipitações entre infiltração, escoamento superficial, evapotranspiração, armazenamento no solo e percolação profunda. A função efetua o cálculo das lâminas de água em duas etapas.

Na primeira etapa, calcula-se em mm a quantidade de água disponível para gerar os escoamentos. Este cálculo é feito efetuando o balanço hídrico em um reservatório fictício, o reservatório solo, conforme mostrado na Figura 4.5. Para ser adaptado às regiões semi-áridas onde os solos, geralmente cobertos por vegetação esparsa apresentam uma crosta superficial (MONTENEGRO, 1990), um termo de escoamento superficial direto,  $Q_{sur}$ , foi introduzido. Ele permite a geração de escoamento superficial, mesmo se a intensidade da precipitação for inferior à capacidade de infiltração e o solo não estiver saturado (GOULA BI TIE, 1993):

$$Q_{sur} = 0 \text{ se } P_m \leq ETP \quad (1)$$

$$Q_{sur} = (P_m - ETP) \cdot K_{rs} \text{ se } P_m > ETP \quad (2)$$

$$K_{rs} = \text{Min}\left(\frac{R + P_m}{R_{max}}, C_{rs}\right) \quad (3)$$

Onde  $C_{rs}$  é o coeficiente máximo do escoamento superficial direto.

A precipitação que penetra no primeiro reservatório é:

$$P = P_m - Q_{sur} \quad (4)$$

E a quantidade de água disponível para gerar os escoamentos, Água, em mm é dada por:

$$\text{Água} = \text{Max}(R + P - R_{max}, 0) + \frac{D_r(2R_{BA} + D_r)}{4(C_{rt} - D_{crt})} \quad (5)$$

Onde:

$R$  é a reserva de água no solo expressa em mm.

$R_{max}$  é a reserva máxima de água no solo, acima da qual nenhuma água é retida no solo.

$D_r$  é a variação da quantidade de água no solo em mm durante o dia:

$$D_r = \text{Max}(R_{HA} - R_{BA}, 0) \quad (6)$$

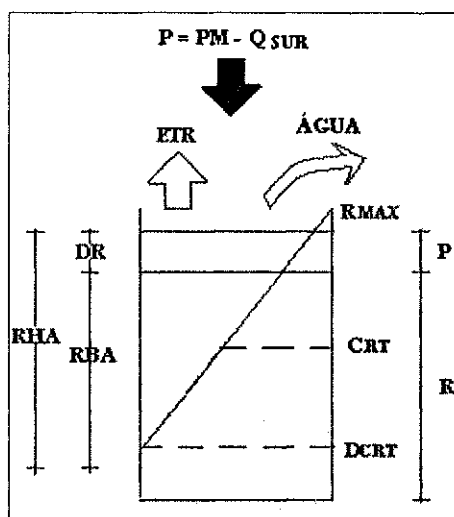


Figura 4.5 - Descrição da função produção de água

$R_{BA}$  e  $R_{HA}$  correspondem às reservas úteis em água antes e depois da precipitação respectivamente:

$$R_{BA} = \text{Max}(R, D_{crt}) - D_{crt} \quad (7)$$

$$R_{HA} = \text{Min}[\text{Max}(R + P, D_{crt}), R_{max}] - D_{crt} \quad (8)$$

Crt é o nível correspondente à capacidade média de armazenamento de água no solo, em mm.

$$Crt = \frac{R_{max} - D_{crt}}{2} + D_{crt} \quad (9)$$

Dcrt é a capacidade de armazenamento de água no solo, em mm, abaixo da qual não há escoamento.

A evapotranspiração real é então calculada pela expressão:

$$ETR = \text{Min}(R + P - \text{Agua}, ETP) \quad (10)$$

e a reserva de água no solo no passo de tempo seguinte,  $R_{j+1}$  é dada por:

$$R_{j+1} = R_j + P - \text{Agua} - ETR \quad (11)$$

Na segunda etapa, a quantidade de água disponível para os escoamentos, "Água", é repartida entre escoamento superficial e escoamento de base. Um primeiro reservatório utilizando uma função de infiltração FN separa a quantidade Água em escoamento superficial QR e escoamento infiltrado QI:

$$QI = \text{Min}(\text{Água}, FN) \quad (12)$$

$$QR = \text{Max}(\text{Água} - QI, 0) \quad (13)$$

A seguir, dois outros reservatórios geram componentes retardadas para o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo respectivamente.

Para o escoamento superficial, a soma dos termos QR e Qsur é dividida em duas componentes QRR1 e QRR2 cuja soma forma o escoamento superficial QRR:

$$QRR = QRR1 + QRR2 \quad (14)$$

QRR1 é a componente instantânea enquanto QRR2 representa o escoamento subsuperficial retardado em função do nível RR no terceiro reservatório conforme a Figura 4.6.

Tem-se:

$$RR_{j+1/2} = RR_j + QR + Q_{sur} \quad (15)$$

$$QRR2 = CQR \cdot RR_{j+1/2} \quad (16)$$

$$QRR1 = \text{Max}(RR_{j+1/2} - QRR2 - QR_{max}, 0) \quad (17)$$

$$RR_{j+1} = RR_{j+1/2} - QRR2 - QRR1 \quad (18)$$

Onde  $RR_j$ ,  $RR_{j+1/2}$  e  $RR_{j+1}$  representam, respectivamente, os níveis de água neste reservatório no tempo inicial, em um tempo intermediário durante o processo de escoamento e no passo de tempo seguinte.

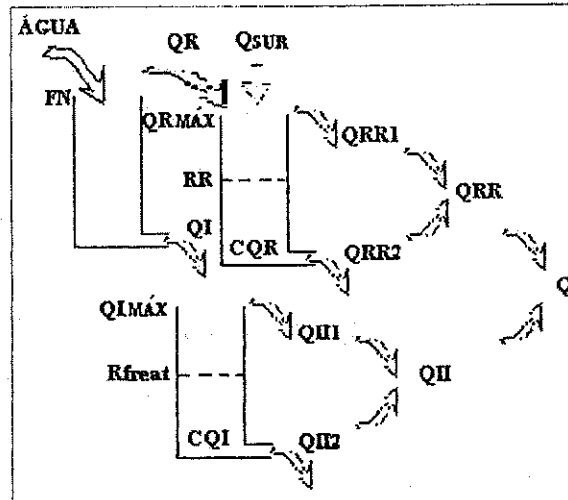


Figura 4.6 - Repartição da quantidade "Água" em escoamento superficial e escoamento de base

Para o escoamento de base, o processo de cálculo é idêntico. O escoamento de base  $QI$  é dividido em duas componentes  $QII1$  e  $QII2$  (Figura 4.6):

$$QII = QII1 + QII2 \quad (19)$$

$$R_{freat\ j+1/2} = R_{freat\ j} + QI \quad (20)$$

$$QII2 = CQI \cdot R_{freat\ j+1/2} \quad (21)$$

$$QII1 = \text{Max}(R_{freat\ j+1/2} - QII2 - Q_{Imax}) \quad (22)$$

$$R_{freat\ j+1} = R_{freat\ j+1/2} - QII1 - QII2 \quad (23)$$

Onde  $R_{freat\ j}$ ,  $R_{freat\ j+1/2}$  e  $R_{freat\ j+1}$  representam os níveis de água no reservatório subterrâneo no tempo inicial, em um tempo intermediário e no passo de tempo seguinte.

A lâmina escoada para uma unidade hidrológica homogênea dentro de uma zona de precipitação (ou produção de água) é então dada pela expressão:

$$Q = QRR + QII \quad (24)$$

## ii. A função de transferência da água

A transferência dos volumes escoados para as quadrículas "Rio" é efetuada pelo método das isócronas. As zonas isócronas são definidas a partir do tempo de concentração da bacia hidrográfica expresso em dias e fração de dia. O número de zonas isócronas,  $NZC$ , é igual ao tempo de concentração arredondado ao inteiro superior. Por



exemplo, uma bacia hidrográfica com um tempo de concentração estimado em 3,2 dias, terá quatro zonas isócronas ( $NZC = 4$ ), como pode se ver na Figura 4.7. O método da definição das zonas isócronas inicia-se pelo cálculo do tempo de transferência (TRF) de uma quadrícula,  $i$ , para a quadrícula,  $i+1$ , situada imediatamente à jusante. Este tempo é inversamente proporcional à raiz quadrada da declividade:

$$TRF_{i,i+1} = K \cdot d_i / \sqrt{(Z_i - Z_{i+1}) / d_i} \quad (25)$$

Onde:

- $d_i$  é a distância dos centros geométricos das quadrículas  $i$  e  $i+1$ ;
- $Z_i$  e  $Z_{i+1}$  são respectivamente as altitudes das quadrículas  $i$  e  $i+1$ ;
- $K$  é um coeficiente de proporcionalidade a ser determinado.

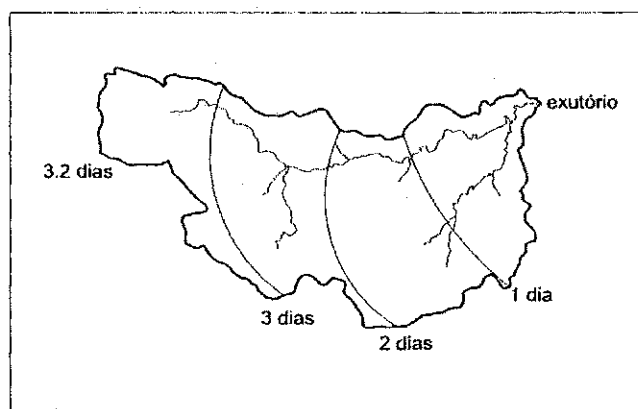


Figura 4.7 – Zonas Isócronas

O tempo de concentração  $T_c$  da bacia é igual ao tempo em que a chuva, que cai no ponto mais distante do exutório da bacia hidrográfica, leva para atingi-lo (VILLELA & MATTOS, 1975). Neste caso, tem-se:

$$\begin{aligned} T_c &= \text{Max} \left[ \sum_{i,i+1=1}^n TRF_{i,i+1} \right] \\ &= K \cdot \text{Max} \left[ \sum_{i,i+1=1}^n d_i / \sqrt{(Z_i - Z_{i+1}) / d_i} \right] \end{aligned} \quad (26)$$

onde  $n$  corresponde ao número de quadriculas percorridas pela água a partir de uma quadricula  $i$  até o exutório. O coeficiente  $K$  pode então ser calculado pela equação 26.

A cada quadricula é associado o número da zona isócrona à qual pertence,  $N_{zi}$ , pela equação:

$$N_{zi} = \text{INT} \left[ \frac{K \cdot \sum_{i,i+1=1}^n \left[ \frac{d_j}{\sqrt{(Z_i - Z_{i+1})/d_j}} \right]}{T_c} \cdot NZC \right] \quad (27)$$

Onde INT representa a parte inteira da expressão entre cochetes.

O volume  $Q_i^j$  disponível em uma quadricula "Rio",  $i$ , a cada passo de tempo,  $j$ , é calculado pela expressão:

$$Q_i^j = \sum_{K=1}^n QD_K^{j-K+1} \quad (28)$$

Onde  $QD_K^{j-K+1}$  representa o volume escoado calculado no passo de tempo  $j-K+1$  sobre a zona isócrona de número  $K$ .

Os volumes escoados  $QD_K^{j-K+1}$  são estabelecidos a partir do produto das lâminas de água escoadas  $Q$  (equação 24) pela área da zona hidrológica homogênea associada, contida na zona isócrona  $K$ , no passo de tempo  $J-K+1$ .

### iii. A função balanço hídrico nos açudes

Em cada açude da bacia hidrográfica é efetuado um balanço hídrico, considerando os volumes de entrada na quadricula onde se encontra o açude, os volumes precipitados sobre a superfície do açude, as contribuições sobre a área da bacia hidráulica descoberta, as perdas por evaporação, os volumes retirados nos açudes para abastecimento, os volumes restituídos na rede hidrográfica a jusante do açude (volumes ecológicos ou de operação dos reservatórios) e os volumes eventualmente vertidos pelo sangradouro. Os volumes de entrada na quadricula do reservatório são constituídos pela soma dos volumes  $Q_i^j$  na rede hidrográfica entre o açude considerado e os açudes imediatamente a montante, acrescida dos volumes vertidos pelos sangadouros desses açudes e dos volumes restituídos a jusante dos mesmos respeitando-se o tempo de percurso desses volumes em função das zonas isócronas. No caso dos açudes de ordem 1, não existe contribuição de açudes a montante nem retirada de água. São açudes de cabeceiras dos rios, os quais são simulados

em primeiro lugar. O balanço hídrico de todos os açudes é efetuado a cada dia, de montante para jusante. Foi introduzido no modelo a possibilidade de armazenamento de volumes de água importantes em planícies de inundação ou depressões para os quais uma perda por evaporação é considerada. Foi também acrescentada a possibilidade de uma perda constante ao longo da rede de drenagem para tomar conta de abstrações eventuais pelos depósitos aluvionares no leito dos rios.

#### 4.2.2.2 – Aplicações anteriores do AÇUMOD

O modelo distribuído AÇUMOD vem sendo aplicado com sucesso em bacias hidrográficas do Estado da Paraíba. A primeira bacia para qual o modelo foi implantado foi a bacia do Rio do Peixe, com uma área de 3.475 km<sup>2</sup> e localizada na região semi-árida da paraibana. Esta região apresenta um regime pluviométrico caracterizado por precipitações do tipo convectivo, ou seja, grande intensidade pluviométrica em um curto espaço de tempo e localização espacial restrita ou concentrada em pontos. Daí a necessidade de se levar em conta a variabilidade espacial e temporal das chuvas.

Para que fosse realizada a discretização da bacia do Rio do Peixe optou-se, neste modelo, por quadriculas de 5 km de lado, as quais após o processo de eliminação e subdivisão, totalizaram 358 quadriculas. Em função das características fisiográficas da bacia consideraram-se quatro funções de produção (zonas hidrológicamente homogêneas):

-Açude – Esta zona deve ser obrigatoriamente implantada, pois representa os reservatórios, permitindo assim, a obtenção do balanço hídrico nos reservatórios, localizados em quadriculas;

-Aluvião – Esta zona é formada pelos Aluissolos Eutróficos, os quais captam ou absorvem a água durante as estações chuvosas. Em geral, esta zona é pertinente das proximidades dos rios;

-Solos rasos e inclinados – Formada pelos solos do tipo Litossolos (Re), que em geral encontram-se localizados nas cabeceiras da bacia e das sub-bacias. Estes solos foram levados em conta devido à sua influência na formação rápida de escoamento superficial e ao pequeno potencial de infiltração. Encontram-se embasados por rochas cristalinas, que impossibilitam o escoamento de base;

-Demais tipos de solos – Grupo formado pelos solos de profundidade variável, que também se encontram assentados sobre o cristalino.

A estrutura hidráulica foi formada por 45 elementos, entre os açudes de ordem 1, que se localizam nas cabeceiras e não têm retiradas significativas, os açudes de ordem 2, os postos fluviométricos, as captações ao longo do rio e os exutórios das sub-bacias. Os açudes de ordem 2 tiveram suas retiradas e restituições detalhadas mensalmente, uma vez que o modelo distribuído AÇUMOD além de simular o ciclo hidrológico, realiza o balanço hídrico dos açudes da bacia, considerando suas respectivas regras de operação.

Os dados climatológicos foram compostos por dados de precipitação diária de 15 postos, compreendidos no período de 1985 a 1991, e por dados de evapotranspiração potencial calculados a partir dos dados de evaporação do Tanque Classe A, afetados de um coeficiente de tanque igual a 0,8. Para cada quadrícula, através do polígono de Thiessen, atribui-se o posto pluviométrico de influência. A mesma metodologia foi utilizada para os dados de evapotranspiração potencial.

Segundo SILANS et al. (2000), o AÇUMOD mostrou-se bastante adequado para a geração de vazões no semi-árido. Através da comparação gráfica (hidrograma) e numérica (coeficiente de correlação e erro médio quadrático), tanto para a calibração como para a validação, pôde-se ver a boa qualidade dos resultados, por exemplo, os valores do coeficiente de correlação determinados estavam acima de 90%. Vale também salientar, que o término da construção do maior açude da bacia hidrográfica, com uma capacidade de 80,2 milhões de m<sup>3</sup>, se deu no meio do período de calibração, que foi do ano de 1985 a 1991, de forma que a partir desta data observou-se a influência da operação deste açude nas medições do posto fluviométrico a jusante do açude, utilizado para a calibração, ficando assim, evidente que o balanço hídrico dos açudes incorporado ao modelo de geração de vazões apresentou bons resultados.

A bacia do Rio Taperoá foi a segunda bacia hidrográfica em que se implantou o AÇUMOD; esta bacia encontra-se localizada na região semi-árida Paraibana e

tem uma área de 5.667 km<sup>2</sup>. Esta bacia caracteriza-se por uma forte concentração temporal da precipitação, no período de dois a quatro meses, sendo que esta pluviosidade corresponde a 65% da pluviosidade anual. Assim, tem-se uma rede de drenagem caracterizada por um sistema intermitente e cortada por barragens, que têm a finalidade de armazenar a água, basicamente, para o abastecimento humano, nos períodos de estiagem.

Segundo PAIVA et al. (1999), para a aplicação do AÇUMOD a esta bacia foram considerados 28 elementos de estruturas hidráulicas, sendo 15 açudes de ordem 2, 2 em projeto, 10 exutórios de sub-bacias e 1 posto fluviométrico. As características climatológicas foram representadas a partir de um conjunto de 17 postos pluviométricos, para os quais definiram-se as zonas pluviométricas homogêneas pelo método de Thiessen, e para a evapotranspiração potencial, foram utilizados os dados de evaporação do tanque classe "A", com coeficiente de tanque igual a 0,70. A geologia, a pedologia e o uso do solo foram representados através de 5 zonas hidrológicas homogêneas, classificadas segundo o tipo de escoamento: solos rasos (afloramento de rochas); solos de escoamento superficial elevado (Solonetz, Solodizados e Solódicos); solos de escoamento superficial médio (Brunos não-calícos, Podzólicos com textura argilosa e Cambissolos com textura argilosa); solos de escoamento superficial fraco (Arenosos, Regossolos, Latossolos, Podzólicos com textura arenosa e Cambissolos com textura média) e aluviões.

Ainda segundo PAIVA et al. (1999) uma das vantagens do AÇUMOD está na sua calibração, pois é possível tirar proveito da distribuição espacial dos açudes e postos fluviométricos, juntamente com o mapa das zonas hidrológicas homogêneas, e assim calibrar os parâmetros do modelo. Isto tudo é apresentado nos bons resultados encontrados durante a calibração e validação do modelo. Segundo os autores, os bons resultados também se devem à incorporação do balanço hídrico dos açudes ao AÇUMOD.

#### 4.2.3 – Aplicação do AÇUMOD à Bacia Hidrográfica do Rio Gramame

A discretização da bacia hidrográfica resultou em 378 quadriculas nas quais foram incluídos 24 elementos da estrutura hidráulica: 09 exutórios de sub-bacias, 11 captações a fio d'água e 3 postos fluviométricos (Figura 4.8).

Os dados de entrada do modelo hidrológico são os dados diários de precipitação e os dados mensais de evapotranspiração potencial. Os aspectos climatológicos gerais sobre a bacia hidrográfica foram descritos no Capítulo 2, no qual foram apresentados, também, todos os dados climatológicos disponíveis.

Um estudo minucioso da qualidade dos dados de precipitação e a análise das correlações entre os postos pluviométricos, ambos realizados no âmbito do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (SEMARH, 2000a), resolveram descartar os postos de Várzea Cercada; Faz. Santo Antônio; Faz. Princesa; Fazendinha; Água Mineral; Marés e Faz. Bulhões por apresentarem dados duvidosos. A análise de consistência pelo método do vetor regional foi então efetuada a nível anual, mensal e diário para os postos de Faz. Mamuaba de Cima; Faz. Mamuaba; Faz. Mumbaba; Faz. Santa Emília; Faz. Veneza; Imbiribeira; Jangada; R-2 Centro; R-5 Cruz das Armas; R-9 Tambaú e Riacho do Salto, no período de 1972 a 1988. A estes postos administrados pela CAGEPA foram também adicionados para este estudo os postos de També, Acaú e Sapé, previamente consistidos. O posto pluviométrico de Alhandra foi descartado também por não apresentar um comportamento regional aceitável. Os dados do posto da GIASA, no período 1972-1988, também foram considerados. Desta forma dados de 15 postos (1 posto a cada 39 km<sup>2</sup>), consistidos no período de 1972 a 1988, foram agrupados em um banco de dados construído pelo modelo AÇUMOD com arquivos distintos para os dados diários e mensais.

Os postos utilizados são indicados na Tabela 4.1. A Figura 4.9 apresenta as áreas de influência de cada posto, determinadas pelo método de Thiessen.

Quanto a evapotranspiração potencial sobre a bacia hidrográfica, como a variação intra-anual é pequena, usaram para o modelo chuva-vazão os valores médios mensais de evaporação do tanque classe "A" de Marés (Tabela 2.5 do capítulo 2) afetados do coeficiente de tanque  $K_T = 0,7$ . Esses dados são registrados no banco de dados associado ao AÇUMOD.

ALENCAR (2000), realizou uma análise de consistência dos dados fluviométricos, e concluiu que para estudos hidrológicos deverá ser considerado o período de 1972 a 1977 como confiável, descartando-se o posto fluviométrico do rio

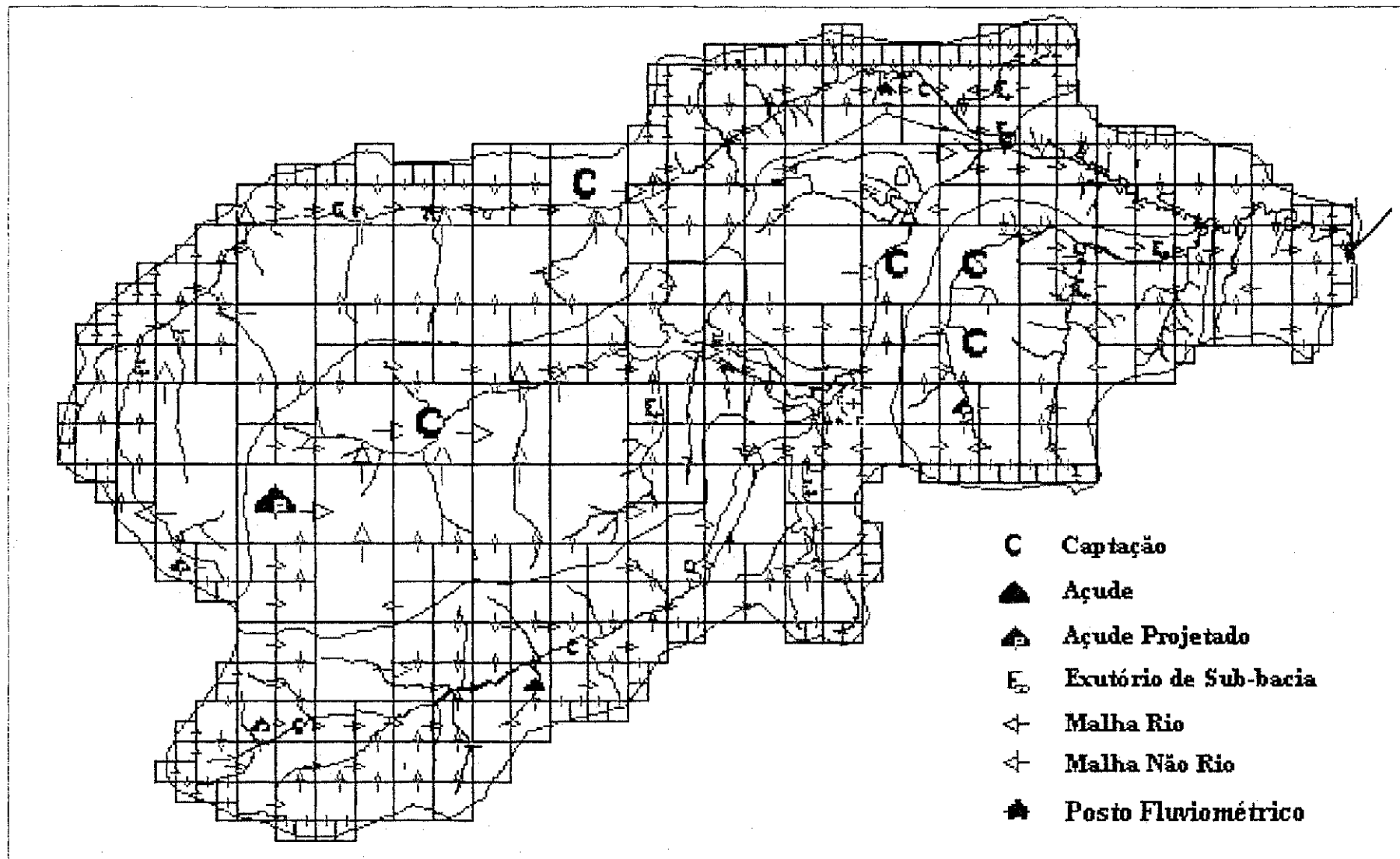


Figura 4.8 – Bacia do rio Gramame discretizada

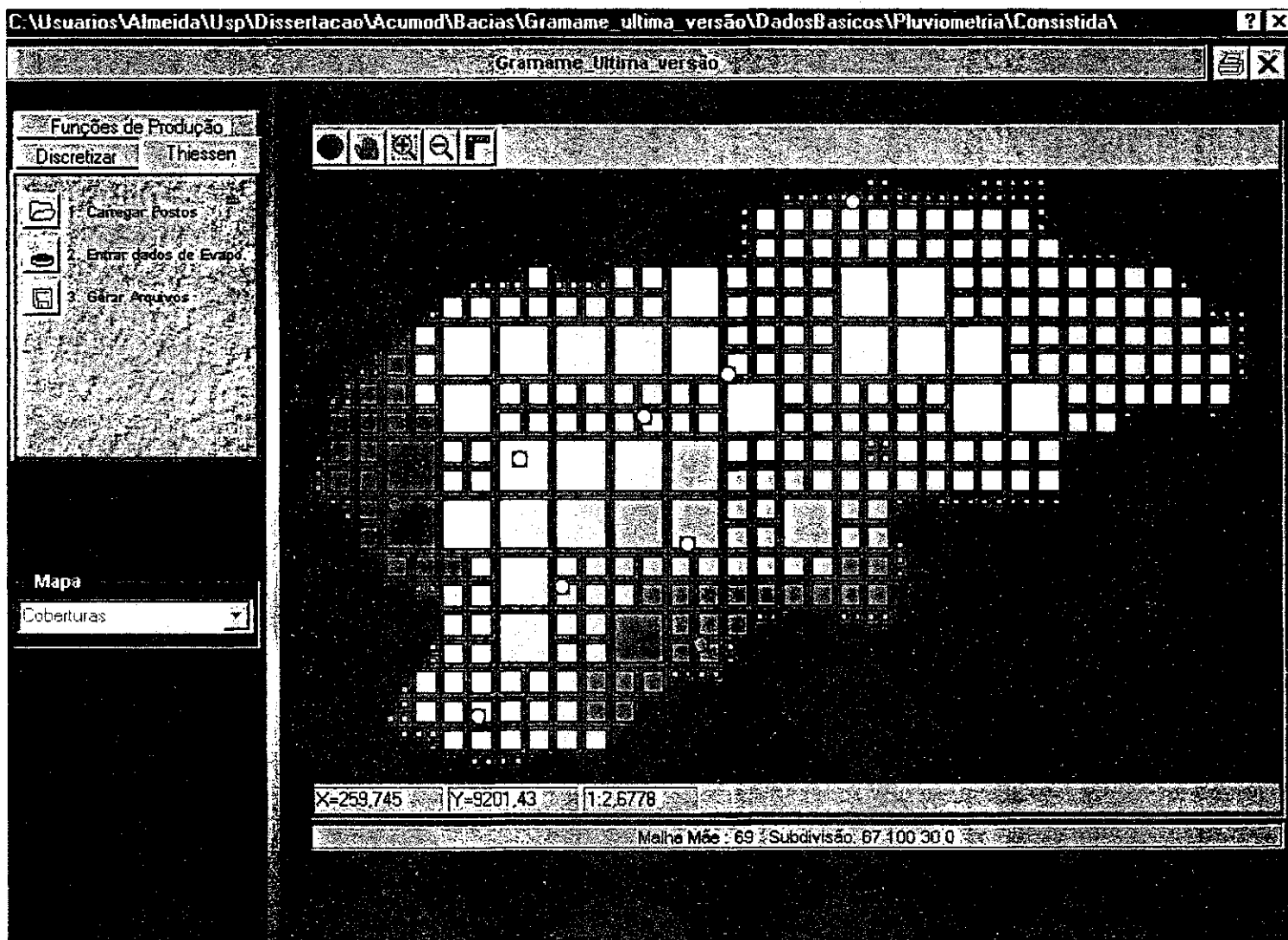


Figura 4.9 – Área de influência de cada posto pluviométrico na bacia do rio Gramame – Método de Thiessen



Gramame. Desta forma, apenas os postos fluviométricos dos rios Mamuaba e Mumbaba foram utilizados para os processos de calibração e validação do modelo.

A partir dos mapas de vegetação, solos e geologia (Figura 2.3, Figura 2.4 e Figura 2.5 do Capítulo 2), foi estabelecido um mapa de zonas hidrológicas homogêneas considerando o papel de cada tema sobre os escoamentos superficiais e de base, discutido no Capítulo 2. O nome de cada zona corresponde a características do solo dominante. A Figura 4.10 mostra as áreas afetadas por cada zona hidrológica homogênea.

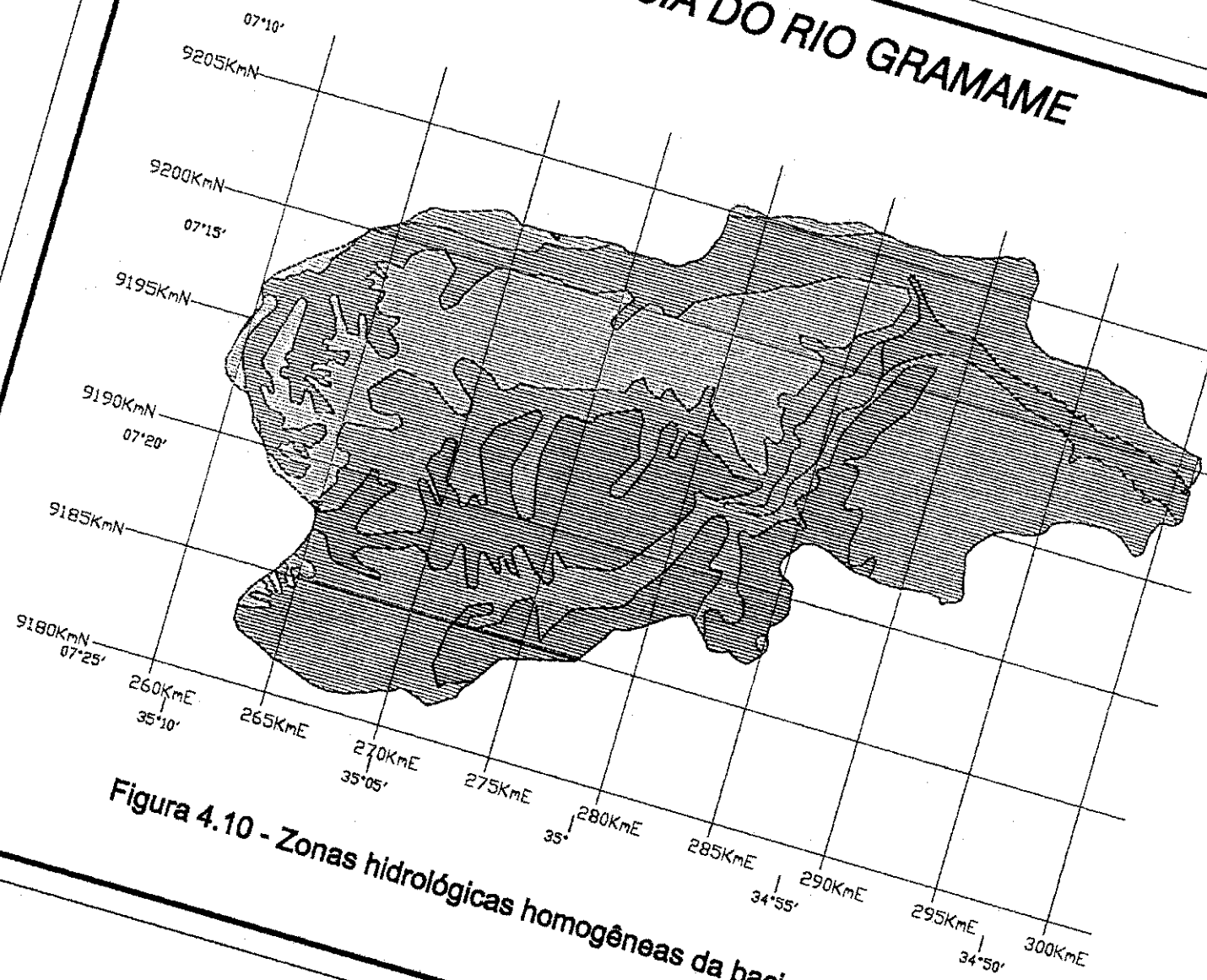
Tabela 4.1 – Postos Pluviométricos utilizados para o cálculo da precipitação média no AÇUMOD

Código	Latitude (km)	Longitude (km)	Altitude (m)	Nome
1735132	9.194,388	268,144	136,00	Faz. Mamuaba de Cima
1734025	9.198,117	277,332	71,00	Faz. Mamuaba
1734026	9.205,515	282,823	89,00	Faz. Mumbaba
1735133	9.183,317	266,355	139,00	Faz. Santa Emilia
1734029	9.207,390	290,180	55,00	Faz. Veneza
1735136	9.196,257	273,659	101,00	Imbiribeira
1735127	9.188,865	270,011	125,00	Jangada
1734031	9.212,928	291,999	44,00	R-2 Centro
1734032	9.211,084	292,006	61,00	R-5 Cruz das Armas
1734030	9.214,793	297,509	24,00	R-9 Tambaú
1735135	9.190,734	275,524	110,00	Riacho do Salto
3849254	9.214,599	253,309	125,00	Sapé
3849878	9.179,630	266,373	190,00	També
1730000	9.186,380	276,100	55,00	Giasa
3849232	9.192,520	262,630	146,00	Acaú






#### 4.2.3.1 – Calibração e Validação do Modelo AÇUMOD

A calibração do modelo é feita manualmente, utilizando o método de tentativas e erros, comparando as vazões geradas pelo modelo com as vazões observadas nos dois postos fluviométricos já citados, no período de fevereiro de 1972 a dezembro de 1974. No AÇUMOD, para cada zona hidrológica homogênea, no período de calibração, encontram-se os valores de oito parâmetros, desta forma, a calibração é feita zona por zona

# BACIA DO RIO GRAMAME



Convenção:

-  Argiloso
-  Saturado
-  Arenoso
-  Aluviões
-  Fragipan

Escala Gráfica:



Figura 4.10 - Zonas hidrológicas homogêneas da bacia do rio Gramame

considerando sucessivamente aquelas de maior abrangência espacial para um determinado posto fluviométrico. O último parâmetro ( $Q_{sur}$ ), utilizado para gerar escoamentos superficiais em solos parcialmente impermeabilizados, foi mantido com o valor zero.

Da Figura 4.10 observa-se que a zona hidrológica "argilosos" afeta quase toda bacia, já a zona hidrológica "fragipan" está inserida predominantemente na sub-bacia do posto Mumbaba, e a zona hidrológica "arenosos" afeta principalmente a sub-bacia do posto Mamuaba. Calibrou-se então o modelo levando proveito destas peculiaridades. A zona "fragipan" foi calibrada utilizando os dados do posto Mumbaba, a zona "arenosos" utilizando os dados do posto Mamuaba e a zona "argilosos" calibrada com os dois postos simultaneamente. No caso da zona "aluviões", por não dispor de observações para calibrá-la, os valores foram tirados de um estudo feito na bacia hidrográfica do rio do Peixe (SILANS et al., 2000). Na zona "saturados", onde foram agrupados os solos gleys e os solos de mangue, não existindo informações para calibrá-la, foram escolhidos parâmetros de modo a não haver escoamentos de base e permitir que toda precipitação fosse repartida em escoamento superficial e evapotranspiração potencial, com um efeito médio de retardamento para simular a possibilidade de acumulação em regiões pantanosas. Os valores obtidos para os respectivos parâmetros são listados a seguir para cada zona hidrológica (Tabela 4.2).

O tempo de concentração da bacia foi estimado a partir dos hidrogramas de eventos isolados em 1,8 dias e as perdas ao longo dos cursos de água foram impostas em 15% da variação do volume.

Para evitar subjetividade nos valores iniciais para os reservatórios superficiais e subterrâneos, uma simulação a frio foi efetuada durante três anos, antes de iniciar o período de calibração.

#### 4.2.3.1.1 – Resultados da Calibração e Validação do Modelo

Os modelos chuva-vazão precisam ser calibrados e validados sobre períodos ou dados fluviométricos distintos, e para julgar a qualidade da calibração e da validação o simples critério do coeficiente de correlação, freqüentemente utilizado, não é suficiente. Então se vê a importância de estabelecer novos critérios ou indicadores para o julgamento da qualidade destas fases. Por este motivo, além da observação visual dos hidrogramas, neste trabalho são considerados também os indicadores relacionados abaixo:

- Média: São comparadas as médias aritméticas das vazões calculadas e observadas.
- Desvio-padrão: São comparados os desvios padrão sobre os valores calculados e observados.
- Máximo e Mínimo: São comparados os valores máximos e mínimos mensais das séries de vazões geradas e calculadas.
- Rendimento: Os rendimentos da bacia são calculados considerando as vazões geradas e observadas.
- RMSE: É o erro quadrático médio. Quanto menor for este valor, menor é a distância média entre valores observados e calculados.
- Correlação: Trata-se do valor de correlação entre valores observados e calculados. Deve ser o mais próximo possível da unidade.
- Pbias: representa o valor médio dos resíduos. O seu valor deve ser o menor possível. Valores negativos indicam uma sub-estimação dos valores calculados, o contrário ocorrendo para valores positivos.

Os valores calibrados dos parâmetros para as cinco zonas hidrológicas homogêneas estão indicados na Tabela 4.2. Os parâmetros mais sensíveis são: Crt, a capacidade média de armazenamento de água no solo, em mm; Dcrt, a capacidade de armazenamento de água no solo, abaixo da qual não há escoamento, em mm; CQI, muito sensível nas zonas onde o escoamento de base é elevado, e FN que, quando positivo permite apenas que a água infiltre, e, quando negativo permite que a água infiltre e percole. As Figuras 4.11 e 4.12 mostram o ajuste entre as vazões mensais observadas e calculadas nos postos Mumbaba e Mamuaba, no período de calibração. Os indicadores de qualidade da calibração encontram-se na Tabela 4.3.

A validação do modelo com os parâmetros apresentados na Tabela 4.2 foi feita comparando-se os dados de vazões calculadas e observadas nos postos Mumbaba e

Mamuaba, no período de janeiro de 1975 a dezembro de 1977. As Figuras 4.13 e 4.14 apresentam esta comparação. Apesar do curto período de validação, e dos dados mensais observados na sub-bacia do posto Mumbaba apresentarem incoerências, os resultados são muito bons (Tabela 4.4).

Tabela 4.2 – Parâmetros do modelo AÇUMOD

Zonas Hidrológicas	Crt	Dcrt	Fn	Cqr	QRmax	Cqi	Qlmax
Fragipan	850	20	-2,0	0,6	500	0,002	800
Arenosos	910	10	-10,0	0,4	500	0,030	50
Argiloso	700	2	-5,0	0,4	700	0,005	400
Aluviões	400	120	-20,0	0,4	250	0,400	250
Saturados	150	70	3,0	0,4	80	0,400	80

Tabela 4.3 – Indicadores de qualidade da calibração.

Indicadores	Mumbaba		Mamuaba	
	Calc	Obs.	Calc	Obs
Média	2,59	2,59	2,06	2,04
Desvio Padrão	1,52	1,72	1,39	1,29
Máxima	6,98	8,41	6,94	6,33
Mínima	1,16	0,93	0,72	0,85
Rendimento	0,33	0,33	0,31	0,31
RMSE	0,13		0,07	
Correlação	0,90		0,95	
Pbias	0,00		0,02	

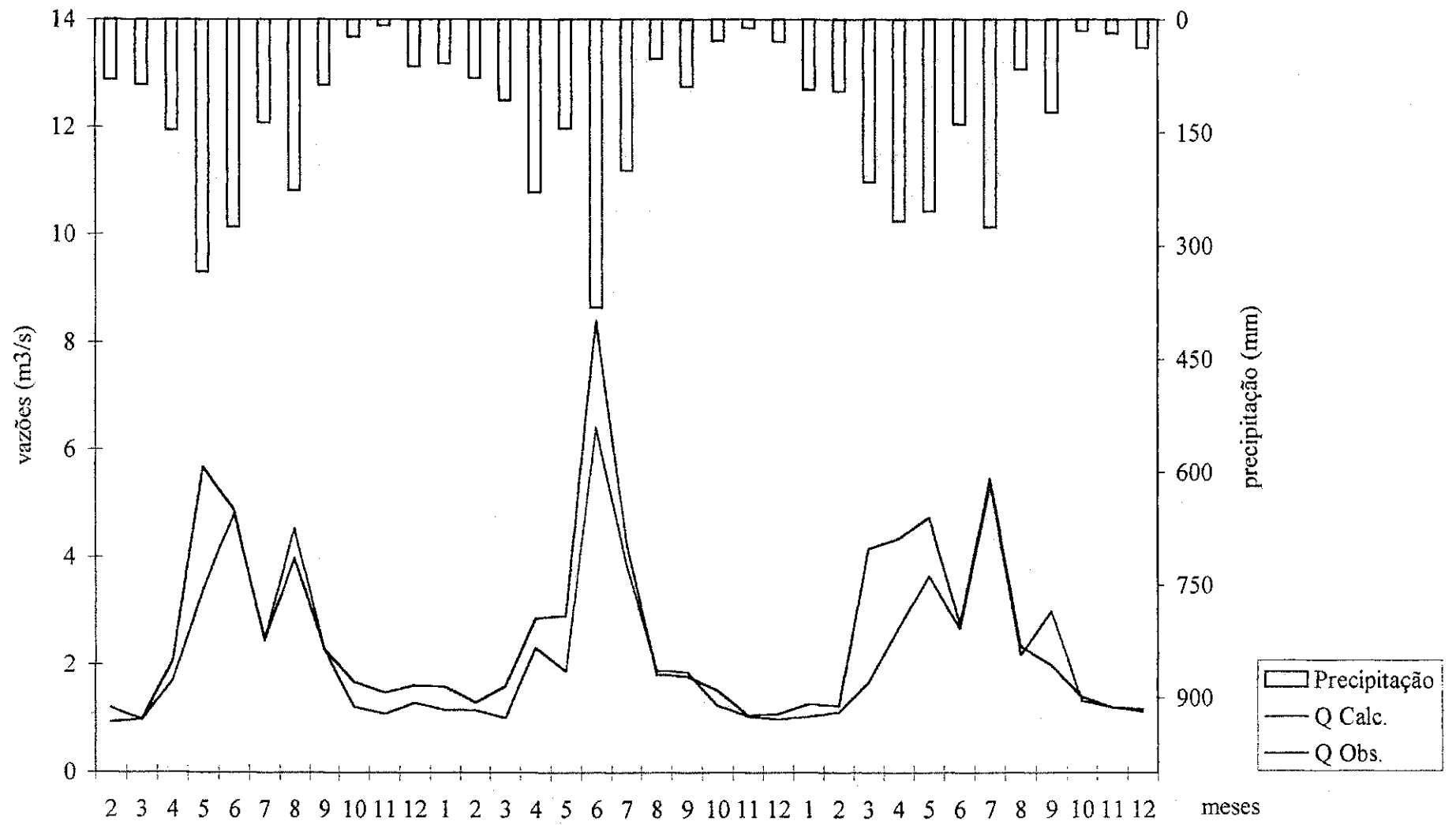


Figura 4.11 - Calibração Mumbaba 1972-1974

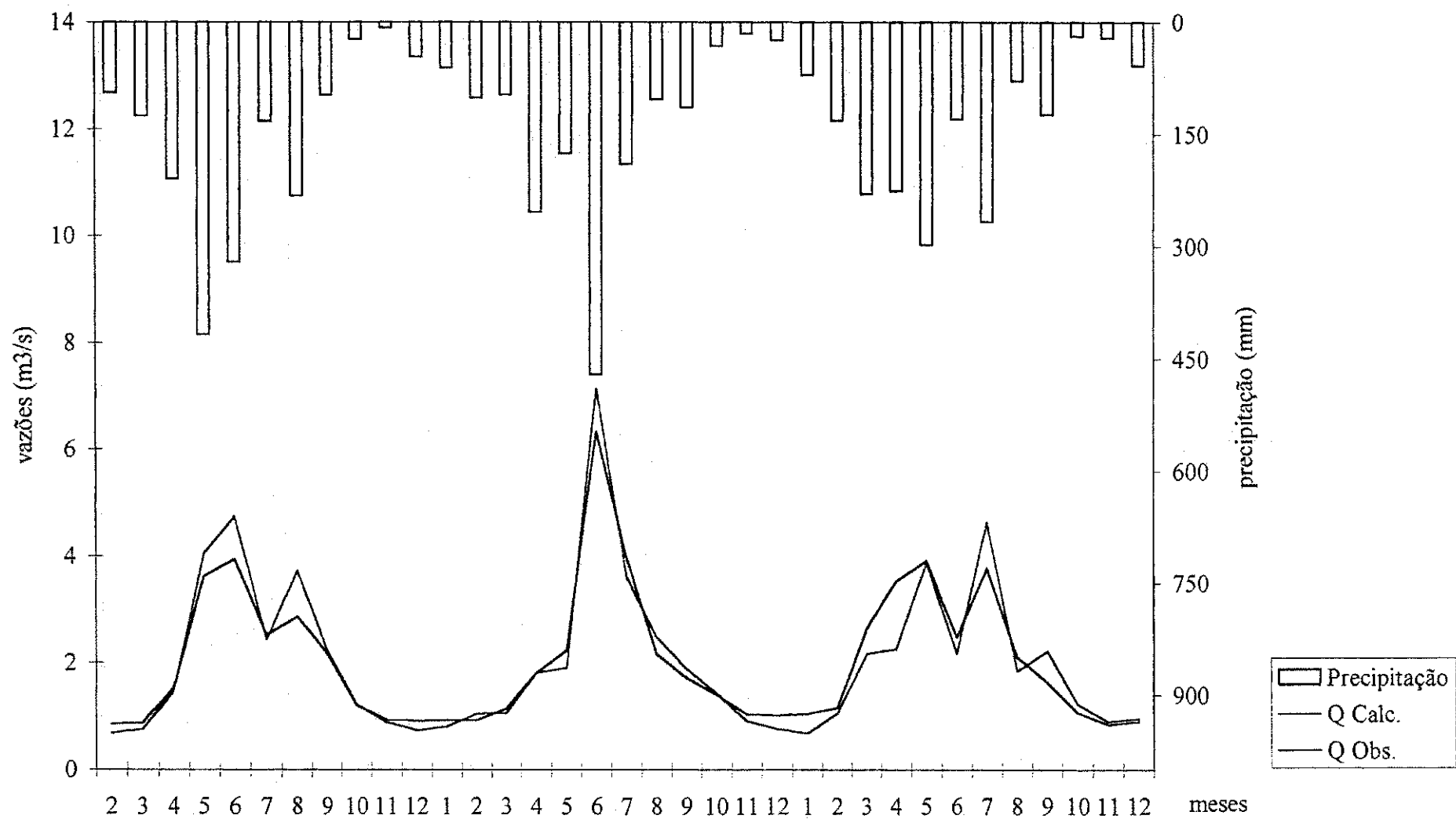


Figura 4.12 - Calibração Mamuaba 1972-1974

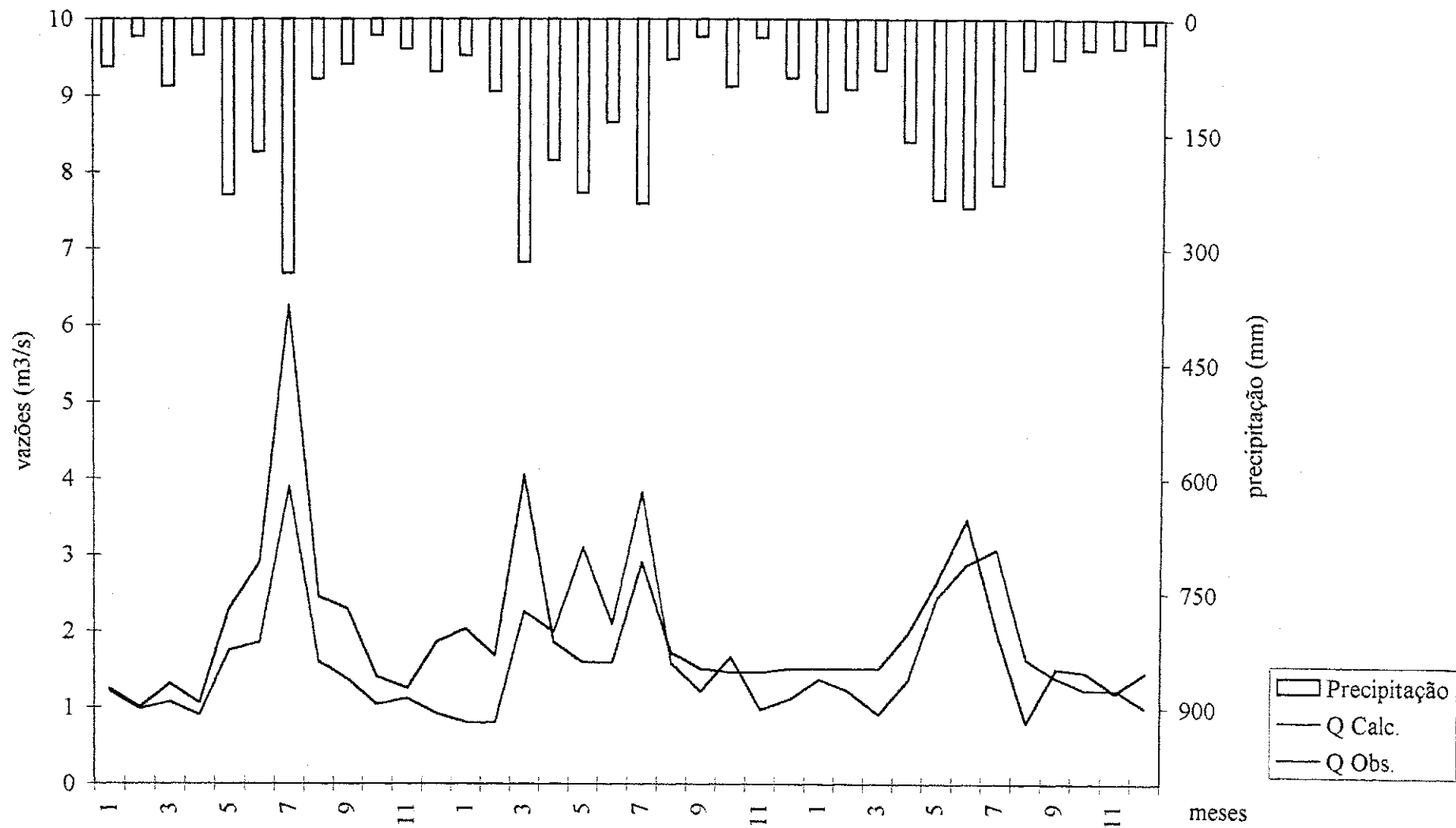


Figura 4.13 - Validação Mumbaba 1975-1977



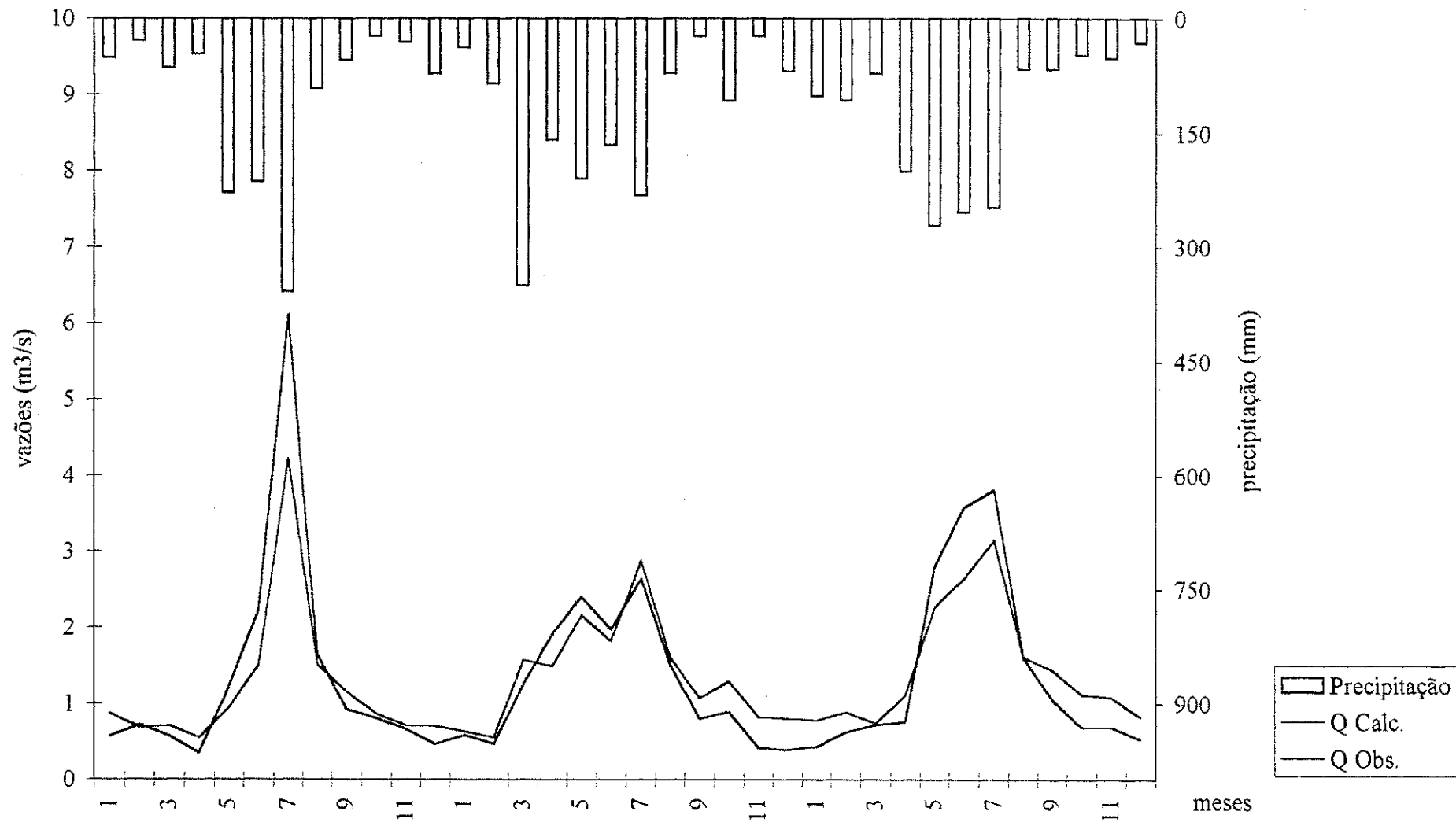


Figura 4.14 - Validação Mamuaba 1975-1977

Tabela 4.4 – Indicadores de qualidade da validação

Indicadores	Mumbaba		Mamuaba	
	Calc	Obs.	Calc	Obs
Média	1,67	1,94	1,36	1,35
Desvio Padrão	0,83	1,01	0,82	1,22
Máxima	3,96	6,26	4,20	6,11
Mínima	0,84	0,80	0,56	0,35
Rendimento	0,24	0,23	0,24	0,24
RMSE	0,13		0,08	
Correlação	0,71		0,96	
Pbias	-0,27		0,00	

Posteriormente, os períodos de calibração e validação foram invertidos para efetuar nova calibração. Os resultados aparecem nas três Tabelas seguintes (Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7). Poucas diferenças são observadas quando se invertem os períodos de calibração e validação. No entanto, as vazões de base parecem ser melhor restituídas com os parâmetros oriundos da calibração sobre o período de 1972 a 1974. São esses parâmetros (Tabela 4.2) que serão adotados no resto do trabalho.

Nas Tabelas 4.8 e 4.9, são comparadas as vazões calculadas pelo modelo e observadas no período 1972-1977, respectivamente, para os postos Mumbaba e Mamuaba.

Uma vez validado o modelo, séries pseudo-históricas de vazão serão geradas para todo o período disponível de precipitação diária na bacia, qual seja de 1972 a 1988. Essas séries serão geradas para diversos pontos de cálculo, localizados dentro da bacia hidrográfica, como mostra a Figura 3.1

Tabela 4.5 – Parâmetros do modelo AÇUMOD com calibração no período 1975 - 1977

Zonas Hidrológicas	Crt	Dcrt	Fn	Cqr	QRmax	Cqi	Qimax
Fragipan	880	2	-0,1	0,6	500	0,001	800
Arenosos	800	10	-1,0	0,4	500	0,030	50
Argiloso	800	2	-3,0	0,4	700	0,005	400
Aluviões	400	120	-20,0	0,4	250	0,400	250
Saturados	150	70	3,0	0,4	80	0,400	80

Tabela 4.6– Indicadores de qualidade da calibração no período 1975-1977

Indicadores	Mumbaba		Mamuaba	
	Calc	Obs.	Calc	Obs
Média	1,74	1,94	1,36	1,35
Desvio Padrão	1,13	1,01	0,98	1,22
Máxima	4,76	6,26	4,40	6,11
Mínima	0,61	0,80	0,47	0,35
Rendimento	0,25	0,23	0,24	0,24
RMSE	0,13		0,07	
Correlação	0,74		0,95	
Pbias	-0,20		0,01	

Tabela 4.7 – Indicadores de qualidade da validação no período 1972-1974

Indicadores	Mumbaba		Mamuaba	
	Calc	Obs.	Calc	Obs
Média	2,57	2,59	2,06	2,04
Desvio Padrão	1,77	1,72	1,57	1,29
Máxima	7,67	8,41	7,43	6,33
Mínima	0,80	0,93	0,57	0,85
Rendimento	0,33	0,33	0,31	0,31
RMSE	0,11		0,08	
Correlação	0,93		0,96	
Pbias	-0,02		0,02	

Tabela 4.8 - Vazões observadas e calculadas no posto fluviométrico Mumbaba

Calibração	Calculada	Observada	Precipitação
Media	2,20	2,59	128,08
sigma	1,40	1,72	
Max	6,42	8,41	
Min	0,99	0,93	
Rendimento	0,27	0,33	
RMSE	0,14		
Correlação	<b>0,91</b>		
Pbias	-0,39		

Validação	Calculada	Observada	Precipitação
Media	1,64	1,94	113,88
sigma	0,82	1,01	
Max	3,89	6,26	
Min	0,80	0,80	
Rendimento	0,23	0,27	
RMSE	0,13		
Correlação	<b>0,69</b>		
Pbias	-0,30		

Ano	mês	Vazões		Precipitação
		Calculadas	Observadas	
1972	2	1,2	0,93	80,91
1972	3	0,99	0,99	86,4
1972	4	1,71	2,07	147,02
1972	5	3,4	5,68	335,34
1972	6	4,82	4,88	275,34
1972	7	2,48	2,45	136,85
1972	8	4,54	3,99	227,05
1972	9	2,28	2,29	87,38
1972	10	1,22	1,68	22,7
1972	11	1,09	1,49	8,04
1972	12	1,3	1,63	62,63
1973	1	1,17	1,6	58,18
1973	2	1,17	1,31	77,79
1973	3	1,02	1,61	107,35
1973	4	2,32	2,87	229,19
1973	5	1,88	2,92	144,19
1973	6	6,42	8,41	382,2
1973	7	3,86	4,27	200,35
1973	8	1,9	1,83	52,65
1973	9	1,87	1,79	89,5
1973	10	1,25	1,53	28,12
1973	11	1,04	1,06	11,55
1973	12	1	1,1	29,47
1974	1	1,04	1,28	93,54
1974	2	1,13	1,24	95,58
1974	3	1,68	4,17	215,57
1974	4	2,69	4,36	267,39
1974	5	3,66	4,75	254,92
1974	6	2,68	2,78	138,84
1974	7	5,34	5,48	275,23
1974	8	2,19	2,36	66,71
1974	9	3,01	2	123,39
1974	10	1,34	1,41	15,52
1974	11	1,22	1,22	17,9
1974	12	1,14	1,19	37,96

Ano	mês	Vazões		Precipitação
		Calculadas	Observadas	
1975	1	1,21	1,24	62,96
1975	2	0,98	1	23,28
1975	3	1,07	1,31	88,23
1975	4	0,9	1,06	47,92
1975	5	1,75	2,29	229,92
1975	6	1,85	2,9	173,66
1975	7	3,89	6,26	332,54
1975	8	1,6	2,45	77,97
1975	9	1,37	2,29	59,1
1975	10	1,04	1,4	21,34
1975	11	1,12	1,25	39,03
1975	12	0,92	1,86	69,02
1976	1	0,81	2,03	47,62
1976	2	0,8	1,68	94,64
1976	3	2,26	4,04	317,41
1976	4	1,99	1,86	184,77
1976	5	3,1	1,59	226,83
1976	6	2,09	1,59	135,03
1976	7	3,82	2,9	240,89
1976	8	1,58	1,72	52,98
1976	9	1,21	1,51	23,37
1976	10	1,67	1,46	88,18
1976	11	0,97	1,46	24,39
1976	12	1,11	1,51	76,74
1977	1	1,37	1,51	120,47
1977	2	1,22	1,51	91,55
1977	3	0,91	1,51	66,03
1977	4	1,36	1,97	160,16
1977	5	2,45	2,66	235,85
1977	6	2,88	3,47	246,45
1977	7	3,07	2,03	216,58
1977	8	1,63	0,8	64,83
1977	9	1,39	1,51	52,06
1977	10	1,23	1,46	39,7
1977	11	1,24	1,2	37,85
1977	12	1	1,46	30,34

Tabela 4.9 - Vazões observadas e calculadas no posto fluviométrico Manuaba

Calibração	Calculada	Observada	Precipitação
Media	2,05	2,04	142,82
sigma	1,47	1,29	
Max	7,14	6,33	
Min	0,68	0,85	
Rendimento	0,31	0,31	
RMSE	0,07		
Correlação	<b>0,96</b>		
Pbias	0,02		

Validação	Calculada	Observada	Precipitação
Media	1,35	1,35	120,24
sigma	0,82	1,22	
Max	4,22	6,11	
Min	0,55	0,35	
Rendimento	0,24	0,24	
RMSE	0,08		
Correlação	<b>0,97</b>		
Pbias	0,00		

Ano	mês	Vazões		Precipitação
		Calculadas	Observadas	
1972	2	0,68	0,85	94,61
1972	3	0,76	0,88	125,81
1972	4	1,47	1,53	209,49
1972	5	4,05	3,62	417,88
1972	6	4,74	3,94	320,28
1972	7	2,44	2,52	132,06
1972	8	3,73	2,86	232,43
1972	9	2,24	2,18	97,42
1972	10	1,22	1,21	22,76
1972	11	0,88	0,93	7,46
1972	12	0,73	0,91	46,18
1973	1	0,81	0,93	61,1
1973	2	1,04	0,92	101,35
1973	3	1,06	1,15	97,59
1973	4	1,82	1,82	254,22
1973	5	1,91	2,24	175,73
1973	6	7,14	6,33	471,1
1973	7	3,6	3,97	189,19
1973	8	2,48	2,16	103,61
1973	9	1,89	1,72	113,98
1973	10	1,44	1,41	31,63
1973	11	0,91	1,04	15,54
1973	12	0,76	1,02	24,51
1974	1	0,69	1,05	70,67
1974	2	1,06	1,17	132,04
1974	3	2,17	2,65	229,7
1974	4	2,27	3,54	225,57
1974	5	3,89	3,92	298
1974	6	2,17	2,48	129,65
1974	7	4,65	3,78	266,64
1974	8	1,85	2,12	78,67
1974	9	2,23	1,65	123,39
1974	10	1,23	1,07	18,82
1974	11	0,9	0,85	20,82
1974	12	0,96	0,9	58,74

Ano	mês	Vazões		Precipitação
		Calculadas	Observadas	
1975	1	0,87	0,57	51,61
1975	2	0,68	0,72	29,15
1975	3	0,71	0,57	64,86
1975	4	0,55	0,35	46,82
1975	5	0,94	1,21	228,21
1975	6	1,5	2,22	214,6
1975	7	4,22	6,11	358,64
1975	8	1,51	1,64	91,85
1975	9	1,15	0,92	54,78
1975	10	0,86	0,8	23,09
1975	11	0,71	0,66	31,07
1975	12	0,7	0,46	73,06
1976	1	0,63	0,58	38,54
1976	2	0,55	0,46	85,96
1976	3	1,57	1,25	350,48
1976	4	1,49	1,91	159,37
1976	5	2,16	2,4	210,14
1976	6	1,82	1,97	165,96
1976	7	2,88	2,64	232,26
1976	8	1,6	1,5	72,04
1976	9	1,07	0,8	23,43
1976	10	1,29	0,89	107,89
1976	11	0,82	0,42	23,22
1976	12	0,8	0,39	69,42
1977	1	0,78	0,44	101,69
1977	2	0,89	0,63	107,17
1977	3	0,74	0,72	72,23
1977	4	1,11	0,76	200,76
1977	5	2,27	2,8	271,11
1977	6	2,65	3,58	254,32
1977	7	3,15	3,81	248,35
1977	8	1,61	1,6	66,68
1977	9	1,44	1,05	67,06
1977	10	1,12	0,69	48,37
1977	11	1,08	0,69	52,33
1977	12	0,82	0,53	32,12

#### 4.2.4 - Geração de séries pseudo-históricas de vazões naturais

O AÇUMOD permite calcular séries de vazão em diversos pontos da bacia hidrográfica. Estes pontos foram escolhidos segundo o Capítulo 3 (Figura 3.1). Correspondem aos postos fluviométricos, às captações de água para abastecimento humano, industrial e para a irrigação, aos exutórios de sub-bacias e outros pontos onde futuramente captações e barragens poderão ser implantadas. No caso da irrigação, estes pontos são fictícios e agrupam diversos usuários com captações reais, às vezes de porte muito pequeno. Para estes pontos de cálculo as vazões foram geradas no período 1972 – 1988.

#### 4.3 – Geração Sintética de Séries Longas de Vazão por Modelo Estocástico

As séries pseudo-históricas de vazões mensais geradas pelo modelo chuva-vazão têm apenas 17 anos. Para estudos de potencialidade e disponibilidades é recomendável a utilização de séries longas. Neste item séries longas de vazão serão geradas pelo método de geração estocástica.

##### 4.3.1 – Geração Estocástica de Séries Longas de Vazões Mensais

Muitos são os modelos que podem ser utilizados para tal, dentre os diversos modelos de geração de séries sintéticas foi escolhido o modelo sazonal de THOMAS & FIERING (1962). Este modelo é composto por 36 parâmetros sendo estes: os 12 valores de

médias mensais, os 12 desvios padrões mensais e os 12 coeficientes de correlações mensais, mais um fator aleatório para que este modelo reflita o caráter estocástico das vazões.

O algoritmo para o modelo sazonal de Thomas e Fiering está apresentado a seguir:

$$x_{i+1} = \overline{x_{j+1}} + b_j * (x_i - \overline{x_j}) + t_i * S_{j+1} * \sqrt{(1 - r_j^2)} \quad (29)$$

Onde:  $x_{i+1}, x_i$  - fluxos gerados durante os meses (i+1), i, contadas do começo das seqüências sintetizadas.

$\overline{x_{j+1}}, \overline{x_j}$  - fluxos médios durante os meses (j+1) e j ( $1 \leq j \leq 12$ ).

$b_j$  - coeficiente de regressão calculado pelo método dos mínimos quadrados entre o fluxo do mês (j+1) e o fluxo do mês anterior j:

$$b_j = r_j * \frac{S_{j+1}}{S_j} \quad (30)$$

$t_i$  - variável aleatória Normal com média 0 e variância 1

$S_{j+1}, S_j$  - desvios padrões dos fluxos durante os meses (j+1) e j

$r_j$  - coeficiente de correlação seriado entre os fluxos dos meses j e (j+1)

A utilização deste modelo, para a bacia do rio Gramame, se deu pelo fato dele ser bem aceito por técnicos e pesquisadores para rios perenes, de forma que ele já é um modelo consolidado neste meio, inclusive já tendo sido aplicado na sub-bacia do rio Mumbaba (FIGUEIREDO & SILVA, 1995) com sucesso. No entanto, correções foram feitas para a variável  $t_i$ , considerando que as vazões mensais apresentam uma distribuição assimétrica e conseqüentemente não são normalmente distribuídas. Trata-se da correção dita W-H de Wilson e Hilferty (MCMAHON & MEIN, 1986).

#### 4.3.1.2 – Resultados da Geração Estocástica de Vazões Mensais

Para cada ponto de cálculo (Figura 3.1 do Capítulo 3), uma série de 200 anos, ou seja, 2400 dados mensais foram gerados pelo modelo de Thomas-Fiering com a correção W-H. Para cada ponto, os valores mínimos, máximos, médios e o desvio-padrão foram calculados e são listados na Tabela 4.10. É importante notar aqui que essas séries sintéticas foram geradas a partir de uma série pseudo-histórica de 17 anos apenas. Deste modo não pretende representar feições estatísticas que não pertencem aos 17 anos considerados, o que constitui uma limitação séria ao estudo.

#### 4.4 – Determinação das Vazões de Referência e Vazões Regularizáveis pelos Açudes

Conforme o Decreto Estadual nº 19.260/97 que regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos no Estado da Paraíba, a vazão de referência para calcular os volumes outorgáveis corresponde a vazão natural da curva de permanência com 90% de probabilidade de ser ultrapassada (Q90) ou à vazão regularizável pelo açude com um nível de garantia de 90%. A estimativa desses valores é feita a partir de séries longas de vazões obtidas do modelo de geração estocástico. No caso deste estudo, como já foi mencionado, a base geradora das séries longas de vazões tem duração de 17 anos. Segundo o teorema central limite, o valor médio desta série é estimado com uma incerteza de 18,5% quando se considera um nível de confiabilidade de 95%. Assim, a incerteza sobre os valores gerados estocasticamente não é desprezível e afeta sensivelmente as vazões mais baixas. Após efetuar uma comparação entre os Q90 calculados com a série gerada estocasticamente de 200 anos e diversos valores de Qx calculado com a série histórica gerada pelo AÇUMOD, escolheu-se o valor de Q98 como representativo da vazão de referência.



Tabela 4.10 – Comparação entre as médias, desvios, máximos e mínimos dos valores de vazão gerados pelo AÇUMOD com os valores calculados com o modelo de Thomas-Fiering

Ponto de Cálculo	Modelo	média	Desv. pad	coef. var.	min.	máx.
26	AÇUMOD	0,06	0,03	0,61	0,00	0,26
	Thomas-Fiering	0,06	0,03	0,59	0,006	0,33
42	AÇUMOD	1,99	1,17	0,59	0,04	13,18
	Thomas-Fiering	2,01	1,12	0,56	0,321	15,04
43	AÇUMOD	2,03	1,19	0,59	0,04	13,42
	Thomas-Fiering	2,05	1,14	0,56	0,329	15,37
47	AÇUMOD	0,19	0,11	0,61	0,00	0,86
	Thomas-Fiering	0,19	0,11	0,29	0,021	1,10
48	AÇUMOD	2,38	1,36	0,57	0,04	14,59
	Thomas-Fiering	2,41	1,31	0,54	0,365	17,03
68	AÇUMOD	0,43	0,30	0,71	0,00	2,21
	Thomas-Fiering	0,44	0,29	0,66	0,052	2,80
79	AÇUMOD	1,30	0,77	0,59	0,04	8,33
	Thomas-Fiering	1,32	0,74	0,56	0,196	9,23
132	AÇUMOD	4,15	2,32	0,56	0,04	23,96
	Thomas-Fiering	4,18	2,24	0,54	0,573	26,69
133	AÇUMOD	0,57	0,35	0,61	0,00	3,60
	Thomas-Fiering	0,58	0,33	0,57	0,087	4,23
136	AÇUMOD	0,51	0,31	0,60	0,01	2,35
	Thomas-Fiering	0,52	0,30	0,58	0,06	3,06
139	AÇUMOD	1,28	0,74	0,58	0,01	6,05
	Thomas-Fiering	1,29	0,73	0,56	0,16	7,75
151	AÇUMOD	9,50	5,24	0,55	0,11	50,87
	Thomas-Fiering	9,60	5,08	0,53	1,276	59,82
158	AÇUMOD	0,08	0,08	1,01	0,00	0,72
	Thomas-Fiering	0,09	0,08	0,91	0,014	0,96
185	AÇUMOD	1,73	0,95	0,55	0,03	9,13
	Thomas-Fiering	1,75	0,92	0,53	0,225	10,45

Tabela 4.10 – Comparação entre as médias, desvios, máximos e mínimos dos valores de vazão gerados pelo AÇUMOD com os valores calculados com o modelo de Thomas-Fiering (continuação)

Ponto de Cálculo	Modelo	média	desv. pad	coef. var.	min.	máx.
194	AÇUMOD	0,39	0,27	0,68	0,00	3,02
	Thomas-Fiering	0,39	0,25	0,64	0,064	3,29
219	AÇUMOD	0,65	0,40	0,60	0,00	3,08
	Thomas-Fiering	0,67	0,39	0,58	0,078	3,78
222	AÇUMOD	0,21	0,12	0,57	0,00	1,08
	Thomas-Fiering	0,22	0,12	0,55	0,028	1,43
231	AÇUMOD	1,83	1,01	0,55	0,03	10,05
	Thomas-Fiering	1,85	0,98	0,53	0,24	11,13
233	AÇUMOD	1,80	1,03	0,57	0,01	9,38
	Thomas-Fiering	1,80	1,00	0,56	0,224	10,83
234	AÇUMOD	1,79	1,02	0,57	0,01	9,31
	Thomas-Fiering	1,79	1,00	0,56	0,224	10,76
241	AÇUMOD	0,20	0,15	0,75	0,00	1,73
	Thomas-Fiering	0,19	0,14	0,71	0,031	1,63
255	AÇUMOD	0,13	0,08	0,61	0,00	0,60
	Thomas-Fiering	0,14	0,08	0,59	0,015	0,76
265	AÇUMOD	0,28	0,16	0,58	0,00	1,33
	Thomas-Fiering	0,28	0,16	0,56	0,033	1,68
280	AÇUMOD	0,01	0,01	1,02	0,00	0,11
	Thomas-Fiering	0,01	0,01	0,92	0,002	0,15
302	AÇUMOD	1,21	0,72	0,59	0,01	6,17
	Thomas-Fiering	1,22	0,70	0,57	0,152	7,35
328	AÇUMOD	1,06	0,63	0,60	0,01	5,44
	Thomas-Fiering	1,07	0,62	0,58	0,133	6,46
346	AÇUMOD	0,12	0,08	0,66	0,00	0,65
	Thomas-Fiering	0,13	0,08	0,64	0,016	0,82
347	AÇUMOD	0,23	0,15	0,66	0,00	1,19
	Thomas-Fiering	0,23	0,15	0,64	0,03	1,49

Para cada ponto de cálculo (ver Figura 3.1) traçou-se à curva de permanência das vazões médias mensais, e considerou-se como vazão de referência de cada ponto, a vazão correspondente à frequência acumulada de 98%. Estas vazões encontram-se na Tabela 4.11.

Calcularam-se também as curvas de garantia para o açude Gramame-Mamuaba assim como para o açude projetado no rio Mumbaba. As vazões regularizáveis correspondendo a diversos níveis de garantia são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Vazões regularizáveis (m<sup>3</sup>/s)

Açude	Garantia		
	100%	99%	98%
Gramame-Mamuaba	2,11	2,87	3,13
Mumbaba	1,59	1,92	2,05

Tabela 4.11 - Vazões de referência nos Pontos de Cálculo

Pontos de Cálculo	Ponto Estratégico	Vazão Mínima m <sup>3</sup> /s (vazão com 98% de permanência)	Vazão Mínima l/s (vazão com 98% de permanência)
26	Açude fictício Mussuré	0,013	13,0
42	Posto Fluviométrico Mumbaba	0,540	540,0
43	Captação Cagepa ( Mumbaba )	0,550	550,0
47	Exutório Riacho Mussuré-Mumbaba	0,040	40,0
48	Exutório Sub-Mumbaba	0,580	580,0
68	Captação Mumbaba 1	0,150	150,0
79	Captação Mumbaba 2	0,250	250,0
132	Captação Cagepa ( Gramame )	1,100	1100,0
133	Água Boa ( Alt I )	0,150	150,0
135	Água Boa ( Alt II )	0,250	250,0
136	Exutório Rio da Salsa	0,120	120,0
139	Exutório Água Boa	0,250	250,0
151	Exutório da Bacia	2,600	2600,0
158	Exutório Riacho Coqueirinho-Mumbaba	0,027	27,0
185	Posto Fluviométrico Mamuaba	0,320	320,0
194	Captação Cagepa ( Conde )	0,020	20,0
219	Captação Mamuaba	0,150	150,0
222	Exutório Riacho Vermelho-Mamuaba	0,058	58,0
231	Exutório Sub-Mamuaba	0,430	430,0
233	Exutório Sub-Gramame	0,300	300,0
234	Posto Fluviométrico Gramame	0,300	300,0
241	Açude fictício Água Boa	0,008	8,0
255	Açude fictício Mamuaba	0,030	30,0
265	Exutório Piabuçu-Gramame	0,060	60,0
280	Açude fictício Mumbaba	0,006	5,5
302	Captação Gramame	0,300	300,0
328	Captação Giasa	0,300	300,0
346	Açude fictício Gramame	0,030	30,0
347	Captação Cagepa ( Pedras de Fogo )	0,055	55,0

## **5 – SIMULAÇÕES DO SISTEMA HÍDRICO DA ÁREA DE ESTUDO**

Para o estabelecimento da outorga na bacia hidrográfica, é necessário efetuar um diagnóstico da situação atual, considerando as demandas atuais, e as projeções de demanda para o futuro, assim como confrontar essas mesmas projeções com alternativas de modificação da estrutura hídrica, no sentido de aumentar a disponibilidade.

Nesta fase da pesquisa, guiada pelos resultados obtidos até aqui (disponibilidades naturais, vazões de referência e as vazões regularizáveis pelo açude Gramame-Mamuaba, calculadas no Capítulo 4, e a identificação dos usuários e suas demandas hídricas, calculadas no Capítulo 2 para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2020), diversos cenários de operação do sistema, cenários de oferta hídrica e cenários de demanda hídrica, associados à priorização dos usos da água, serão considerados. Também nesta fase, assim como nas anteriores, a disponibilidade subterrânea não é considerada, a qual, na bacia do rio Gramame, é utilizada principalmente para o abastecimento animal, o abastecimento da população rural e o abastecimento de diversas indústrias na bacia. Segundo informações da CAGEPA, esta disponibilidade suplementar deve ser considerada apenas como emergencial, haja visto que não existem estudos e dados confiáveis sobre os aquíferos utilizados.

### **5.1 – Priorização dos Usos e das Demandas e Descrição dos Cenários**

Para efeito desta simulação, considerou-se as seguintes prioridades de atendimento:

- primária: abastecimento humano;
- secundária: armazenamento do volume meta de água nos reservatórios;
- terciária: irrigação de culturas perenes (fruticultura) e outras culturas importantes para a segurança alimentar dos pequenos agricultores;
- quaternária: irrigação de cana-de-açúcar.

Comumente considera-se como demanda prioritária a referente ao atendimento ao abastecimento humano mais a vazão mínima que deve ser mantida no rio por razões ambientais. Porém, em uma situação extrema, onde a vazão disponível só atende a uma dessas, é bastante provável que a população seja atendida em detrimento da preservação ambiental.

Então, quando a vazão disponível não é suficiente para atender todas as demandas, verifica-se se até este ponto de cálculo alguma demanda de prioridade inferior já foi atendida. Caso afirmativo, retorna-se a este ponto e reduz este atendimento até atender integralmente a demanda de prioridade superior ou até zerar o atendimento a esta demanda de prioridade inferior. De forma que uma demanda de prioridade superior só é atendida parcialmente quando todas as de prioridade inferior já tiverem seus atendimentos zerados. Dessa forma, só poderá haver falhas de atendimento a um determinado nível de usuário quando todos os usuários, com prioridade inferior de atendimento não tiverem suas demandas atendidas.

No que concerne às regras de prioridade, uma distinção foi feita em relação à irrigação da cana-de-açúcar e dos outros cultivos. Para estes últimos, principalmente a fruticultura, foram considerados com maior prioridade de uso da água para a irrigação do que o cultivo da cana-de-açúcar, por ter maior valor econômico.

Como foi determinada uma prioridade ao armazenamento de um volume meta de água nos reservatórios, abaixo deste nível, restrições no suprimento de água para irrigação serão feitas começando pela irrigação da cana-de-açúcar. Sendo o nível acima do nível de alerta (nível correspondente ao volume meta), não haverá restrições às demandas.

A primeira sequência de cenários é relativa à situação atual, tanto no que concerne à infra-estrutura hídrica como à inexistência de operação do sistema, ou seja, não existem prioridades para os diversos usos da água e não existem níveis de alerta no açude

de Gramame – Mamuaba. Quatro cenários (cenários 1 a 4) são construídos conforme a Tabela 5.1, cada um sendo relativo a um horizonte de planejamento.

Consideram-se nos cenários seguintes (ver Tabela 5.2), regras de operação do sistema com níveis de alerta no açude de Gramame-Mamuaba correspondendo a 50% (caso A) e 25% (caso B) do volume acumulado e as regras de prioridades descritas na Tabela 5.3.

Tabela 5.1 – Identificação dos cenários 1 a 4.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL SEM VOLUME META NO GRAMAME-MAMUABA E SEM PRIORIDADES	
HORIZONTE	CENÁRIO
2000	1
2005	2
2010	3
2020	4

Tabela 5.2 – Identificação dos cenários 5 a 8.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL COM VOLUME META NO GRAMAME-MAMUABA E PRIORIDADES	
VOLUME META = 50% (CASO A)	VOLUME META = 25% (CASO B)
HORIZONTE	CENÁRIO
2000	5 (A e B)
2005	6 (A e B)
2010	7 (A e B)
2020	8 (A e B)

Tabela 5.3 – Regras de prioridades

FINALIDADE DE USO	PRIORIDADE
Abastecimento Humano	1
Armazenamento do Volume Meta	2
Irrigação Prioritária	3
Irrigação Não Prioritária	4

Nos cenários 9 a 12 (ver Tabela 5.4), observa-se a situação supondo ser construído o açude Mumbaba.

Tabela 5.4 – Identificação dos cenários 9 a 12.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA COM VOLUME META E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2005	1600 l/s	1060 l/s	9 (A e B)
2010	1600 l/s	1370 l/s	10 (A e B)
2020	1600 l/s	1920 l/s	11 (A e B)
2020	1000 l/s	2520 l/s	12 (A)

No cenário 14 (Tabela 5.5), imagina-se construir na sub-bacia hidrográfica do açude Gramame-Mamuaba, no município de Pedras de Fogo, um pequeno reservatório de regularização com uma capacidade de armazenamento de 8 milhões de m<sup>3</sup>. A construção deste açude foi recomendada pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. Nas simulações com este reservatório considerou-se que a cidade de Pedras de Fogo era abastecida pelo mesmo.

Tabela 5.5 - Identificação do cenário 14.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA + R8 COM VOLUME META (50%) E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2020	1000 l/s	2520 l/s	14

Nos cenários 15 e 16 (ver Tabelas 5.6 e 5.7), acrescentou-se aos cenários 12 e 14 respectivamente a possibilidade de importação de uma vazão de 1.000 l/s da bacia hidrográfica vizinha, a bacia dos rios Papocas e Abiaí. Esta importação, nos cenários efetuados, seria efetivada dentro do açude de Gramame-Mamuaba.

Tabela 5.6 - Identificação do cenário 15.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA + PAPOCAS COM VOLUME META (50%) E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2020	1000 l/s	2520 l/s	15



Tabela 5.7 - Identificação do cenário 16.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA + R8 + PAPOCAS COM VOLUME META (50%) E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2020	1000 l/s	2520 l/s	16

## 5.2 – Confronto entre Disponibilidades Naturais e Demandas

O confronto destas duas grandezas, objetiva fornecer cenários de avaliação, sem, entretanto definir o critério de outorga a ser adotado. A definição, contudo, depende de um processo interativo entre os fatores intervenientes na disponibilidade e na demanda de água da bacia. Então, quanto mais verdadeiras forem as avaliações mais próximo da realidade estarão as simulações (SILVEIRA et al., 1998).

### 5.2.1 – Quantificação das Demandas e da Oferta

Com base no estudo das demandas, apresentado no Capítulo 2, a demanda na bacia do rio Gramame tem três usos principais: abastecimento urbano local, irrigação e exportação de água para a cidade de João Pessoa. Observa-se que 60% das demandas são para a exportação de água para a cidade de João Pessoa (Figuras 5.1 e 5.2). O equacionamento do importante abastecimento de João Pessoa é estratégico para o balanço hídrico da bacia do Rio Gramame. A Figura 5.3 apresenta a demanda da bacia para todo o horizonte determinado e observa-se que as demandas evoluirão de 3,66 m<sup>3</sup>/s no horizonte 2000 para 4,84 m<sup>3</sup>/s no horizonte 2020.

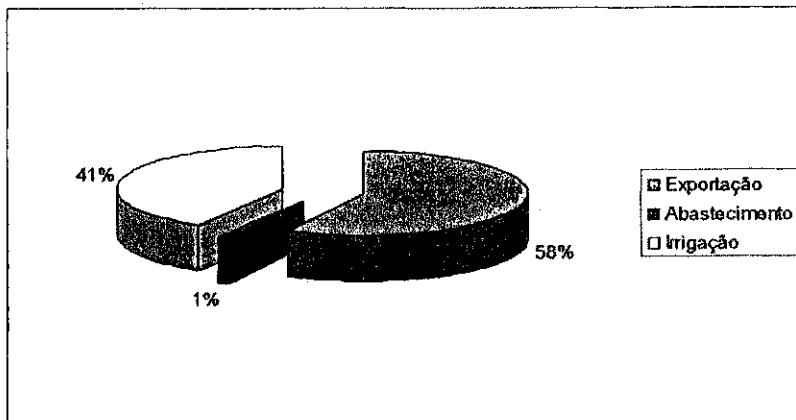


Figura 5.1 - Estrutura da demanda na bacia do rio Gramame no ano 2000

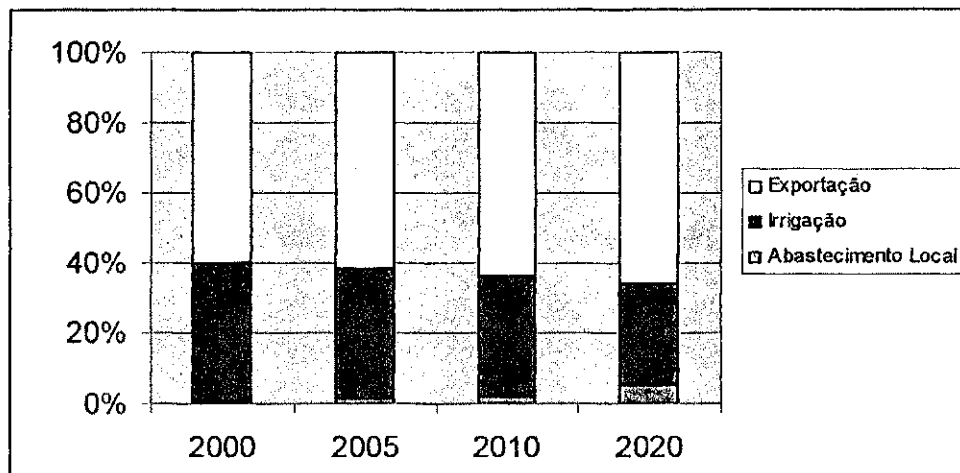


Figura 5.2 - Evolução da estrutura da demanda

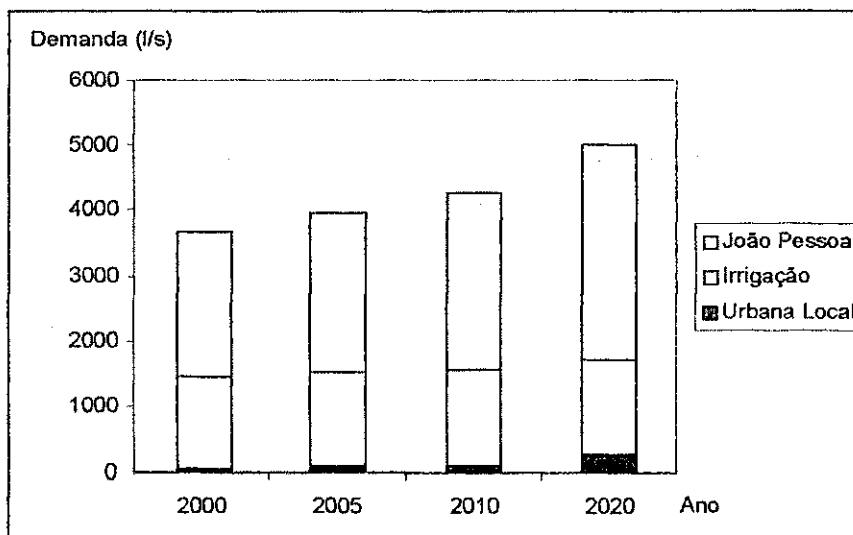


Figura 5.3 - Evolução da demanda na bacia do rio Gramame

Diante dos valores acima e da definição dos cenários de simulação, o presente estudo utilizou o modelo de rede de fluxo MODSIMP32, descrito a seguir, para realizar este confronto (demandas x oferta).

### 5.2.2 – Modelos de Rede de Fluxo

O MODSIMP32 faz parte de uma classe de modelos denominado de modelos de rede de fluxo. Os modelos de rede de fluxo na realidade misturam características dos modelos de simulação e otimização e podem incorporar as características estocásticas das vazões de entrada.

Os modelos de rede de fluxo (MRF) representam sistemas de recursos hídricos por uma rede formada de "nós" e "arcos". Os nós representam reservatórios, demandas, reversões, confluências, e outros pontos importantes de um sistema. Os arcos são os elos de ligação entre os nós e representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes.

Cada arco é caracterizado por três parâmetros, ou seja, os limites superior ( $S_{i,j}$ ) e inferior ( $I_{i,j}$ ) do fluxo que passa pelo arco (ex.: capacidade máxima e mínima de um canal) e um "custo" ( $C_{i,j}$ ) por unidade de fluxo que transita pelo arco. Os custos podem ser positivos ou negativos, ou seja, podem representar uma penalidade (no caso de custo positivo), ou um prêmio (custo negativo). Este custo não significa, obrigatoriamente, um valor monetário, podendo representar preferências estabelecidas pelo usuário. As capacidades máxima e mínima de cada arco podem ser fixas para todo o período de simulação ou podem variar ao longo do tempo. O problema de otimização toma, portanto a forma:

$$\min \sum \sum C_{ij} \times Q_{ij}$$

sujeito a:

$$\sum Q_{ij} - \sum Q_{ki} = 0$$

e

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij}$$

onde:

$Q_{ij}$  = vazão que transita do nó  $j$  ao nó  $i$

$C_{ij}$  = custo (prioridade) da unidade de vazão que transita entre os nós  $j$  e  $i$

$N$  = número total de nós da rede

$I_{ij}$  = limite inferior da vazão no arco  $ij$

$S_{ij}$  = limite superior da vazão no arco  $ij$

A primeira equação é a função objetivo e representa o custo total da rede. A segunda estabelece que a rede deve ser totalmente *conservativa* (diz-se também *totalmente circulante*), ou seja, a soma das vazões afluentes ao nó  $i$  ( $\sum Q_{ij}$ ) deve ser igual à soma dos fluxos que saem dele ( $\sum Q_{ki}$ ). Esta é uma imposição do algoritmo que precisa ser obedecida incondicionalmente. A terceira equação representa o segundo tipo de restrição, ou seja, o valor da vazão em cada arco deve estar sempre na faixa limitada pelas capacidades mínimas e máximas do arco.

Cada nó deve conter as características da estrutura que representa. Por exemplo, se o nó "i" estiver representando um reservatório, o analista deve fornecer a relação cota-área-volume, os volumes máximos e mínimos de armazenamento, os níveis de armazenamento que se deseja atingir, o percentual de perdas por infiltração, a taxa de evaporação, etc.

Entre as características que tornam atrativa a utilização dessa classe de modelos para análise de sistemas de recursos hídricos, destacam-se as seguintes (AZEVEDO, PORTO & ZAHED, 1997):

- Na grande maioria dos casos pode-se representar um sistema de recursos hídricos de forma adequada, realista, flexível e bastante clara como uma rede composta de nós e arcos;
- Esses modelos possuem a flexibilidade típica dos modelos de simulação, ou seja, podem representar o comportamento de um sistema de recursos hídricos de forma bastante completa;
- Modelos de rede de fluxo incluem também algoritmos de otimização que minimizam o custo total da rede, ou seja, determinam os fluxos em todos os arcos de tal forma que a somatória de todos os custos seja mínima.

Os MRF podem modelar também as interações entre águas superficiais e subterrâneas como, por exemplo, a diminuição das vazões dos rios devido ao bombeamento de aquíferos ou o retorno de vazões aos cursos de água através do subsolo.

Os algoritmos de otimização de redes de fluxo costumam ser altamente eficientes (ordens de magnitude mais rápido que o SIMPLEX) o que significa que sistemas extremamente grandes e complexos podem ser tratados em microcomputadores comuns.

Embora modelos de rede sejam extremamente vantajosos, eles apresentam limitações. Os algoritmos de rede de fluxo otimizam apenas sistemas lineares, uma vez que aplicação de técnicas não lineares ainda não constitui tecnologia madura. A função objetivo é pré-definida e portanto não pode ser livremente especificada pelo usuário.

Estes algoritmos admitem também apenas os dois tipos de restrições acima citados. Como os sistemas de recursos hídricos costumam ser altamente condicionados, em alguns casos pode haver necessidade de adoção de artifícios para que seja obtida representação adequada.

Geralmente a otimização dos MRF é executada a cada intervalo de tempo, de forma seqüencial. O intervalo mensal é usualmente o mais utilizado para os problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, embora a técnica seja aplicável a intervalos mais curtos. Deve ser enfatizado, entretanto, que na maioria dos MRF a otimização efetuada não é dinâmica, ou seja, não se garante o ótimo global para um período de "n" intervalos de tempo à frente.

As perdas de condução em canais e evaporação em reservatórios representam um desvio da condicionante que impõe o balanço de massas. Tal fato não representa entretanto grande problema uma vez que estas perdas podem ser calculadas por processos iterativos sem grande perda de eficiência.

Em resumo, os modelos de rede de fluxo reúnem características das técnicas de simulação e otimização. As características de flexibilidade e adaptabilidade dos modelos de simulação são quase que integralmente preservadas nos MRF, ao mesmo tempo em que o algoritmo de otimização, apesar das limitações citadas, libera o usuário dos trabalhosos e demorados processos de tentativa e erro.

### 5.2.3 – Descrição do Modelo MODSIM32

O modelo MODSIM é um modelo de rede de fluxo desenvolvido na Colorado State University sob a liderança do Prof. John LABADIE (LABADIE, 1988 e AZEVEDO, PORTO & ZAHED FILHO, 1997). A opção desta pesquisa pelo MODSIM deve-se ao fato dele ser um modelo generalizado, bem documentado, adaptado para simular as situações mais comuns que ocorrem em sistemas de recursos hídricos e testado em uma variedade de situações. No Brasil, registram-se aplicações do modelo para simular o Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (SOUZA FILHO & PORTO, 1996), o sistema da bacia dos rios Itapicurú (PORTO, 1999) e Jacuípe na Bahia (PORTO, 1997).

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

- Os usuários podem colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). O modelo atenderá a estas demandas de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99 (o valor 1 é a maior prioridade). As prioridades  $P$  e os custos  $C$  estão relacionados de forma biunívoca ( $C = 10P - 1000$ ), o que significa que os valores de  $C$  que representam prioridades são sempre negativos. Portanto, ao atender uma prioridade o modelo estará diminuindo os custos da rede de um valor  $C$  por unidade de vazão fornecida;
- A operação dos reservatórios é feita utilizando-se o conceito de *volume meta* ou *nível meta*, ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório “guardará” água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume armazenado acima do nível meta tem custo zero, ou seja, é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades;
- As perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo;
- O modelo calcula a produção de energia elétrica (de ponta ou de base) desde que sejam fornecidas as características da usina;

- O modelo faz o balanço água superficial - água subterrânea, desde que sejam fornecidas as características do aquífero.

O *Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões* da Escola Politécnica da USP desenvolveu uma interface gráfica para facilitar a aplicação do MODSIM, chamada de MODSIMP32. Esta interface foi desenvolvida no formato típico de um sistema de suporte a decisões, ou seja, estão presentes em sua estrutura um módulo de diálogo, uma base de dados e uma base de modelos, que no presente caso é constituída apenas pelo MODSIM.

O módulo de diálogo permite que toda a topologia do problema seja formulada apenas com a utilização do mouse e de uma série de ícones (que representam reservatórios, canais, nós de passagem, etc.). Ao se acionar o botão dois do mouse sobre cada um destes ícones tem-se acesso à base de dados da estrutura representada pelo ícone acionado. Após a execução do programa os resultados podem ser consultados em forma tabular ou gráfica. Os dados e resultados podem ser facilmente exportados para planilhas eletrônicas e processadores de texto utilizando-se as funções específicas do Windows 95/98. Da mesma forma, os dados de entrada podem ser importados de planilhas.

#### 5.2.4 – Aplicação do MODSIMP32 à Bacia do Rio Gramame

Os diversos cenários descritos anteriormente (item 5.1), foram construídos no MODSIMP32, permitindo uma visão espacial da situação dos recursos hídricos na bacia para os diferentes horizontes (Figura 5.4). A construção dos cenários no MODSIMP32 também possibilita uma visão espacial da localização de cada PC.

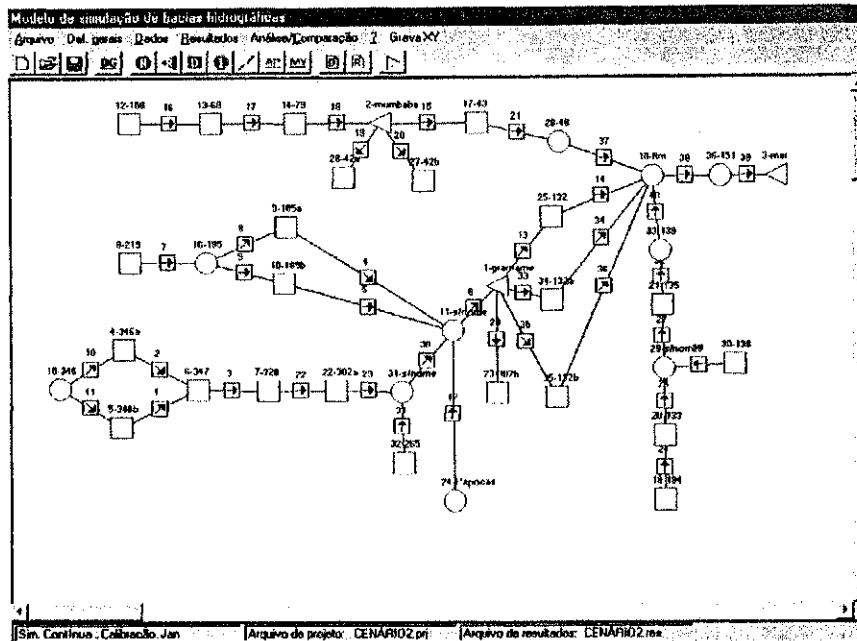


Figura 5.4 – Apresentação dos cenários no MODSIM32

Os resultados do confronto entre disponibilidades naturais e demandas de cada cenário apresentam-se sob a ótica dos parâmetros de avaliação de performance, abaixo descritos, para cada ponto de cálculo estipulado no Capítulo 3:

- Valor da demanda;
- Falha percentual: é a percentagem do tempo (em meses) em que o sistema não garantiu o abastecimento de toda a demanda;
- Falha volumétrica: é o volume percentual da demanda que não pode ser abastecida durante todo o período de simulação;
- Duração média da falha: é o número de meses em média que perdurou as falhas do sistema;
- Duração máxima da falha: é o número de meses de duração da falha mais longa ocorrida durante a simulação;
- Magnitude: é o volume total do racionamento ocorrido em todos os meses consecutivos de uma falha;
- Severidade: é a razão entre magnitude e duração da falha



### 5.2.5 - Resultados

Os resultados para os diferentes trechos do rio, nos diferentes cenários analisados, obtidos das diversas simulações são mostrados nas tabelas que se encontram nos Anexos B.1 a B.22. Um critério foi adotado para indicar a situação em termos do balanço hídrico local de acordo com a Tabela 5.8:

- balanço hídrico aceitável (cor verde);
- balanço hídrico tolerável (cor laranja);
- balanço hídrico insustentável (cor vermelha).

As situações são descritas geograficamente através das figuras dos Anexos C.1 a C.21.

Tabela 5.8 – Critérios de avaliação do balanço hídrico.

Finalidade de uso	Verde	Laranja	Vermelho
Abastecimento humano	Falha percentual $\leq 2\%$ e duração média $\leq 2$ meses	Falha percentual $\leq 5\%$ e duração média $\leq 4$ meses	Demais casos
Irrigação prioritária e Indústrias	Falha percentual $\leq 5\%$ e duração média $\leq 2$ mese	Falha percentual $\leq 10\%$ e duração média $\leq 3$ meses	Demais casos
Irrigação não prioritária	Falha percentual $\leq 10\%$ e duração média $\leq 2$ meses	Falha percentual $\leq 20\%$ e duração média $\leq 3$ meses	Demais casos

### 5.2.6 – Análise dos Resultados

A partir dos resultados mostrados no tópico anterior, é possível tirar conclusões sob duas óticas:

- análise dos cenários com relação ao diagnóstico da situação dos recursos hídricos;
- análise dos cenários considerando o critério de outorga estabelecido pela Legislação Estadual.

#### 5.2.6.1 – Análise dos Cenários com Relação ao Diagnóstico da Situação dos Recursos Hídricos

A avaliação dos cenários 1 a 4, indica que com a infra-estrutura atual não é possível garantir um abastecimento do sistema para uma exploração socialmente e economicamente sustentável da bacia. Observa-se que o cenário 1 (horizonte 2000) apresenta falhas de 30% para o abastecimento da Grande João Pessoa e falhas significativas na bacia do Mumbaba, com PC's tendo 75% de falha. Na bacia do Gramame o PC 265 apresenta falha volumétrica de 93%. Nos outros três cenários onde a demanda é maior acentuam-se as falhas. Estes cenários sugerem a construção de nova infra-estrutura hídrica devido a alta frequência das falhas.

Com relação à sub-bacia do rio Mumbaba, observa-se que na situação atual, desconsiderando a irrigação, isto é, proibindo toda retirada de água para irrigação na sub-bacia, e se for fornecido 600 l/s ao sistema da CAGEPA, a disponibilidade hídrica torna-se insuficiente já em 2005. No caso de um fornecimento de 425 l/s, como já ocorreu em anos passados, as demandas para a irrigação na sub-bacia podem ser supridas até 2005. A situação piora com projeções de aumento das demandas para a irrigação. Contudo, nesta sub-bacia, segundo SEMARH (2000a), o índice de ativação da potencialidade (IAP) é de 0,43 o que indica a possibilidade de aumento da disponibilidade. Esta possibilidade foi considerada na elaboração de um estudo de implantação de uma barragem na bacia (CAGEPA, 1994). Um pré-dimensionamento indica ser possível construir uma barragem na bacia do rio Mumbaba com capacidade para armazenar 41,35 milhões de m<sup>3</sup> e regularizar uma vazão de 1,6 m<sup>3</sup>/s.

O estudo aponta para um ganho importante com a operação dos reservatórios e o estabelecimento de prioridades. A partir da análise dos cenários 5A a 8B recomenda-se um nível de alerta correspondendo a 50% da capacidade dos reservatórios.

Os cenários 9A a 12A avaliam o impacto da implantação do reservatório Mumbaba. Observa-se que a construção deste reservatório reduz a falha significativamente

na retirada para a Grande João Pessoa a jusante do reservatório, mostrando o quão interessante e prioritário é este reservatório para o sistema. Estes cenários discutem o fato de que pode-se inclusive elevar em 70% as retiradas para João Pessoa previstas para este reservatório (1.000 l/s) e o mesmo tem condições de atendê-las de maneira firme. Aumentos de até 150% na vazão de retirada de 600 l/s foram realizados (1.600 l/s); estes cenários apresentaram falha de 7 a 10% dependendo da regra de operação do reservatório.

Nesta condição, os índices de sustentabilidade hídrica da bacia do rio Gramame melhoram substancialmente, e, com a demanda atual para a irrigação, a disponibilidade se tornaria insuficiente entre 2010 e 2020. Considerando a proibição de irrigar a montante do açude de Gramame-Mamuaba a disponibilidade da bacia seria suficiente para atender as demandas até o ano 2020. Operaram-se os reservatórios Gramame-Mamuaba e Mumbaba com duas zonas cada. Uma zona superior onde o mesmo liberaria água para todas as demandas que ele suprisse e uma zona inferior que abasteceria exclusivamente a cidade de João Pessoa e imporá racionamento a montante para prover água para João Pessoa. Os cenários 11 (A e B) e 12A mostram a importância desta operação na ocorrência das falhas na bacia. A operação diminui efetivamente as falhas em João Pessoa e aumentam as falhas nas demais demandas na bacia. Em pontos de demanda do Mumbaba no cenário 11, por exemplo, tem-se um aumento nas falhas de até 60% do seu valor no PC 42b. Este fato indica que é útil a operação zoneada do reservatório para garantir maior segurança ao abastecimento de João Pessoa e explicita o conflito existente entre a demanda de João Pessoa e os demais usos na bacia.

A comparação dos cenários 12A e 14 sugere que o reservatório no alto Gramame reduz as falhas na parte alta da bacia. Esta redução na falha volumétrica é de 38% para 19% no PC 328. Observa-se, também, que este reservatório reforça o abastecimento de João Pessoa. Este fato indica que este reservatório não reduz a regularização do Gramame ao contrário, amplia-a, assim como as falhas observadas anteriormente para o abastecimento da cidade de Pedras de Fogo, são supridas.

A importação de água para a bacia do Gramame, realizada a partir da bacia do rio Abiaí-Papocas, sugerida por SEMARH (2000b), com valor estimado de  $1\text{m}^3/\text{s}$  ( $32\text{hm}^3/\text{ano}$ ), foi analisada nos cenários 15 e 16. A importação de água do Abiaí-Papocas reduz significativamente as falhas na região de montante do reservatório Gramame e introduz níveis de garantia superiores a 95% em todas os PC's à jusante do reservatório, sendo o abastecimento de João Pessoa garantido durante toda a série simulada.

#### 5.2.6.2 - Análise dos Cenários Considerando o Critério de Outorga Estabelecido pela Legislação Estadual

As concessões, fiscalizações e controle das emissões de outorga são de responsabilidade do órgão gestor dos recursos hídricos, seja ele o MMA - Ministério do Meio Ambiente, quando se tratar de corpos hídricos de domínio da União, ou as Secretarias de Recursos Hídricos de cada estado, quando se tratar de corpos hídricos de domínio dos Estados e Distrito Federal. O órgão gestor dos recursos hídricos na Paraíba (leia-se SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais), faz uso do Decreto Estadual nº 19.260/97 que regulamenta a outorga de direito do uso de água, o qual define que a soma dos volumes de água outorgados em uma determinada bacia, não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada com 90% de garantia (Artigo 26 da Seção II do Capítulo V).

Com o objetivo de verificar o impacto da adoção do critério de outorga do respectivo Decreto, foram analisados dois cenários escolhidos aleatoriamente (cenário 5A e 12A). O cenário 5A diz respeito a simulação do sistema considerando: infra-estrutura atual; demanda atual (ano 2000); regras de prioridades (Tabela 5.3) e operação do açude Gramame-Mamuaba com nível de alerta correspondendo a 50% do volume acumulado. O cenário 12A representa o sistema considerando: infra-estrutura atual somada com o açude Mumbaba; demanda futura (2020); regras de prioridades (Tabela 5.3) e operação dos açudes Gramame-Mamuaba e Mumbaba, com nível de alerta correspondendo a 50% do volume acumulado.

A Tabela 5.9 compara as falhas no atendimento às demandas de alguns PC's do cenário 5A, quando se substitui a disponibilidade natural por 90% da vazão referencial  $Q_{90}$ .

Tabela 5.9 – Comparação entre as falhas de atendimento às demandas, nos PC's da bacia do rio Gramame, para diferentes critérios de outorga.

PC (1)	Demanda (l/s) (2)	90% Q <sub>90</sub> (l/s) (3)	Falhas com 90% Q <sub>90</sub> (%)* (4)	Falhas com 90% Q <sub>90</sub> e prioridades (%)* (5)	Falhas com a disponibilidade natural e prioridades (%)* (6)
158 - Irrigação	9,0	24,3	8,3 / 27,3	41,7 / 100,0	27,0 / 72,4
68 - Irrigação	4,0	110,7	0,0 / 0,0	33,3 / 100,0	17,0 / 54,0
79 - Irrigação	20,0	90,0	0,0 / 0,0	50,0 / 100,0	26,3 / 51,4
42 - Irrigação	211,0	261,0	50,0 / 100,0	50,0 / 100,0	36,3 / 70,0
43 - Abastecimento humano	600,0	9,0	100,0 / 25,4	100,0 / 20,0	28,2 / 14,7

\* Corresponde às falhas percentual (do lado esquerdo) e volumétrica (do lado direito).

Nota-se, a partir da Tabela 5.9 (cenário 5A), que utilizando o critério da vazão de referência fixa (especificada no Decreto Estadual que regulamenta a outorga), as falhas no atendimento às demandas (coluna 4) são bem maiores que as falhas obtidas quando se considera a disponibilidade natural estabelecendo regras de prioridades e operação dos reservatórios (coluna 6). Mesmo estabelecendo as prioridades de uso da água, principalmente no PC 43 que é de abastecimento humano, as falhas não diminuem significativamente se comparadas com as falhas na coluna 6, e ainda a demanda não é atendida completamente nenhum dos meses simulados (coluna 5, falha percentual de 100%). Vê-se, portanto, que o critério que fixa a quantidade de falhas e que estabelece regras de prioridades e operação dos reservatórios, permite uma melhor utilização das vazões excedentes, ou seja, consegue-se outorgar valores maiores de vazão e, por conseguinte restarão valores menores de vazões remanescentes.

LUZ (1994), PEREIRA (1996) e SILVA (1997) comprovaram também este fato, em bacias distintas, mostrando que o critério de outorga baseado nas vazões de referência fixa revela-se pouco aderente às variações das disponibilidades hídricas e da própria sazonalidade das mesmas nos diversos pontos da bacia.

Já RIBEIRO (2000) sugere, no lugar de se fixar uma vazão de referência, introduzir o conceito de “vazão total outorgável” que seria constituída por duas partes: uma fixa, chamada de “vazão mínima outorgável”, e uma variável, chamada de “vazão condicionada”, cuja grandeza varia de acordo com a situação hídrica na bacia, contudo, ressalta suas desvantagens na implementação.

Desta forma, o critério que fixa a quantidade de falhas e que estabelece regras de prioridades e operação dos reservatórios, à medida que os usuários aceitam assumir maiores riscos quanto ao atendimento de suas demandas, possibilita que maiores valores sejam outorgados.

Outro ponto relevante foi extraído da análise do cenário 12A. Considerando-se os mesmos PC's da Tabela 5.9, percebeu-se que, com o aumento da disponibilidade no PC 42, as demandas destes PC's são atendidas na sua totalidade e, como consequência deste fato, vê-se que qualquer critério adotado será bem aceito.

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi utilizado o modelo AÇUMOD que é um modelo hidrológico distribuído com técnicas de SIG's, o qual, desta forma, considera a espacialização das informações utilizadas nos processos hidrológicos. O AÇUMOD se mostrou muito adequado para utilização na bacia do rio Gramame e possibilitou a geração de séries sintéticas de vazões em pontos pré-determinados. Estes pontos foram denominados de pontos de cálculo e determinados considerando a localização dos postos fluviométricos, das captações de água para abastecimento humano, industrial e para a irrigação, dos exutórios de sub-bacias e de outros pontos onde futuramente captações e barragens poderão ser implantadas.

Com os resultados obtidos com o AÇUMOD foi possível simular cenários criados com o objetivo de efetuar o diagnóstico da situação atual do sistema em estudo, considerando as demandas atuais, e as projeções de demanda para o futuro, assim como confrontar essas mesmas projeções com alternativas de modificação da estrutura hídrica, utilizando o MODSIMP32. O MODSIMP32 faz parte de uma classe de modelos denominado de modelos de rede de fluxo, possuindo desta forma características dos modelos de simulação e otimização e a possibilidade de incorporar as características estocásticas das vazões de entrada, além da facilidade de criar e testar os cenários no próprio modelo.

Percebe-se que o conjunto formado por estes dois modelos constitui uma ferramenta poderosa para o planejamento e gerenciamento integrado da bacia hidrográfica. Desta forma, vê-se que este conjunto poderá ser base de um futuro Sistema de Suporte a Decisões, que inclui entre outros processos o de outorga.

O ritmo acelerado da ocupação do solo e desenvolvimento da agricultura irrigada na região da bacia do rio Gramame já mostra conflitos entre os usuários por ter-se atingido o limite da disponibilidade natural da água. Constata-se que o estabelecimento da outorga não será um “milagre”, que virá mitigar todos os conflitos. Necessita-se, desta forma, de outras medidas, estruturais e não-estruturais, simultâneas a outorga.

Vê-se também a importância em considerar as demandas futuras, como uma forma de precaução, sob a pena do sistema entrar em colapso, devido à irreversibilidade das falhas de fornecimento.

Sobretudo, a adoção de tal ou qual diretriz para o uso racional dos recursos hídricos em cada sub-bacia, que busque minimizar os conflitos entre os diversos usuários, deverá estar subordinada ao plano diretor da bacia, já existente.

No que diz respeito ao instrumento de gestão regulador, a outorga de uso (neste caso quantitativo) da água, existem diferentes alternativas para suas concessões que exigem diferentes níveis de controle, dependendo do critério adotado. A análise mostrou que em relação ao critério adotado pelo Estado (vazão de referência fixa), o critério que fixa a quantidade de falhas e que estabelece regras de prioridades e operação dos reservatórios, apresenta diversas vantagens, entre elas a de permitir um maior uso das disponibilidades hídricas. Isto incrementa os benefícios derivados do uso da água, sem afetar, em termos quantitativos, o suprimento às demandas prioritárias, como a de abastecimento público e a proteção dos ecossistemas.

É inevitável, porém, que isto seja acompanhado de um maior controle do uso da água. Isto não significa, necessariamente, uma maior interferência do poder público, já que existem interesses privados antagônicos pelo uso da água que podem ser utilizados para estabelecer autocontroles. Nesta classe se inserem alternativas como a da outorga a associações de usuários de água e ao reforço da participação de Comitês de Bacia Hidrográfica nas decisões referentes ao gerenciamento e controle do uso dos recursos hídricos. Nele os próprios usuários escolheriam as garantias com que seriam supridos, entendendo que maiores garantias implicariam em menores valores outorgados.

Um sistema de outorga como foi preconizado apresenta a vantagem econômica e social de permitir o uso mais intenso da água disponível, ao ampliar o valor total da água outorgada. Por outro lado, para que isso seja viabilizado, há a necessidade de ser aceita social e politicamente a possibilidade de restrição do uso como uma das ferramentas operacionais. Da mesma forma, há a necessidade de um melhor aparelhamento



do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, através do monitoramento hídrico, simulação de cenários em tempo real, a tomada da decisão em face aos resultados e a fiscalização da obediência destas decisões, relacionadas à redução de captação de água.

Os processos de outorga devem reconhecer as incertezas do regime fluviométrico, advindas da irregularidade climática e da falta, ou até inexistência, de medições de vazões nos cursos de água. Neste caso, as vazões são geradas através de modelos chuva-vazão, incorporando, desta forma, algumas incertezas com relação a estas séries sintéticas de vazões:

- A variabilidade da distribuição temporal e espacial das precipitações durante os eventos;
- Os parâmetros do modelo que caracterizam a bacia;
- As condições iniciais das variáveis do modelo;
- A estrutura do modelo hidrológico que simplifica os processos reais, introduzindo erros na representação do escoamento.

O aprofundamento na análise de critérios de outorga a ser adotado na bacia e suas conseqüências, assim como a análise de outros aspectos correlatos enquanto instrumentos de gestão, como por exemplo a cobrança pelo uso das águas, poderão ser desenvolvidos posteriormente. Isto contribuirá ainda mais no sentido da melhoria dos sistemas de gestão dos recursos hídricos.

Finaliza-se este trabalho com a certeza de que o resultado deste estudo poderá trazer maior confiabilidade à aplicação de um sistema de outorga, proporcionando um incremento na qualidade das ações baseadas nos mesmos.

## ABSTRACT

According to the Federal Law number 9.433/97, the grant of water use right is a regulatory tool of water resources. To turn effective the water use right processes, several studies must be done: the basin characterization with identification of uses and its current and future needs; the discretization of the basin in point of calculus; the evaluation of natural water resources availability and simulations of the basin system for several scenarios. In this work, the aim is to provide the necessary information for the implantation of a water use right process in the Gramame basin in Paraíba State, doing these studies. For this, hydrological models are described, used and the results was analyzed. Prospective scenarios were simulated from which it was concluded that it is necessary to modify the water use right criterion adopted in the Paraíba State Law number 19.260/97.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAS INFORMA. (2000). Proágua Luta Contra a Escassez no Semi-Árido. In: Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. N.º 107, outubro.
- ALENCAR, M. B. (2000). Relatório de Estágio Supervisionado. Universidade Federal da Paraíba/CT/DTCC, 50 p.
- ALLEY, W. M.. (1984). On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting and aquifer recharge in monthly water balance models. In: Water Resources Research, v. 20, p. 1137-1149.
- ARAÚJO FILHO, P. F. (1992). OMEGA - Modelo de formulação não-linear dos processos hidrológicos, Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - RJ.
- ARAÚJO FILHO, P. F; MOURA, A. R. L. U. (1998). Modelagem hidrológica utilizando sensoriamento remoto: metodologia. In: Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH.
- ARNALL, N. W. (1992). Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment. In: Journal of hydrology, v. 132, p. 321-342.
- AZEVEDO, L. G. T; PORTO, R. L.; ZAHED, K. (1997). Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo - Capítulo 4. In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos, ABRH-EUFRGS.
- BARRAQUÉ, B. (1995). As Políticas da Água na Europa. Instituto PIAGET, Lisboa, 374 p.
- BRASIL, Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997.

- CAGEPA (1994). Sistema de abastecimento de água da Grande João Pessoa – Estudos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Mumbaba. João Pessoa.
- CEOTTO, F.; LUCCHETTI, S.; GIRARD, G.; JACCON, G. (1983). Aplicação do modelo SIMMQE à bacia do Rio Paraíba do Sul. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, V. 2, p. 229-262. ABRH.
- CHIEW, S. H. F.; STEWARDSON, J. M.; McMAHON, A. T. (1993). Coparison of six rainfall-runoff modelling approaches. In: Journal of Hydrology, v. 147, n. 1-4, p.1-36.
- DINIZ, L. da S. (1994). Calibração automática de modelos chuva-vazão usando um algoritmo genético. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 130 p.
- DNAEE (1983a). Modelo SIMMEQ – Conceituação. Ministério das Minas e Energia – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, 87p.
- DNAEE (1983b). Modelo SIMMEQ – Aplicação à Bacia do Rio Paraíba do Sul. Ministério das Minas e Energia – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, 87p.
- DUBREUIL, P. (1974). *Initiation a L'analyse Hydrologique. (Dix Exercices Suivis des Corrigés)*. Paris, Masson & Cia./ORSTOM, 216 Ilust.
- EDITORA ABRIL (2000). Almanaque Abril – Edição Brasil. 26ª Edição, 432p.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; RUBERT, O. A. V. (1999). Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Recursos Hídricos: Metodologia e Estudo de Caso. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH.
- FERRAZ, A. R. G.; BRAGA JR., B. P. F. (1998). Modelo Decisório para a Outorga de Direito ao Uso da Água no Estado de São Paulo. In: RBRH, v. 3, n. 1, p. 5-19.
- FIGUEIREDO, E. E.; LOPES, P. L.; SRINIVASAN, V. S. (1998). Influência da discretização da bacia no escoamento simulado com um modelo distribuído. In: Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH.
- FIGUEIREDO, P. H. S. & SILVA, T. C. (1995). Um método automático com elementos estocásticos para determinação da capacidade de açudes, vazão regularizável e superfície útil irrigável. In: Anais do SICTEC. Recife, 8 a 11 de outubro.
- FILGUEIRA, H. J. A. & SILVA NETO, A. F. da (1999). Estimativa do consumo de água para a irrigação na bacia hidrográfica do rio Gramame. In: I Workshop sobre o

Uso e Conservação da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. João Pessoa: SUDEMA.

- GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (1998). Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. In: RBRH, v.3, n.4, p.103-120, outubro/dezembro.
- GIRARD, G. (1974). Modèle global ORSTOM. Première application du modèle journalier à discretisation spatiale sur le bassin versant de lodo ativado crique Grégoire en guyane. Technical report, ORSTOM, Paris, Atelier hydrologique sur les modèles mathématiques.
- GÓIS, R. S. S.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, W. A. (1996). Avaliação de alguns modelos determinísticos chuva-vazão em bacias hidrográficas de diferentes regiões do Estado da Paraíba. In: Anais do III Simpósio Nordeste de Recursos Hídricos, V. 1, p. 559-564. ABRH.
- GOULA BI TIÉ, A. (1993). Modélisation hydrologique de bassins versants équipés d'ouvrages hydrauliques em zone Soudano-Sahélienne: Application au Massili (Burkina Faso). Tese de doutorado, Ecole des Mines de Paris, 178 p.
- GRIGG, N. S. (1996). Water resources management: principles, regulations, and cases. New York: McGraw-Hill.
- HABETS, F.; NOILHAN, J.; GOLAZ, C.; GOUTORBE, J. P.; LACARRÈRE, P.; LEBLOIS, E.; LEDOUX, E.; MARTIN, E.; OTTLÉ, C.; VIDAL-MADJAR, D. (1999). The ISBA surface scheme in a macroscale hydrological model applied to the Hapex-Mobilhy area part I: Model and database. In: Journal of hydrology, v. 217, n. 1-2, p.75-96.
- IBGE/UNFPA-BRA/98/P08. NOÉ, R. A. M. & OLIVEIRA, J. C. (1999). Projeção das Populações Municipais por Sexo e Idades Simples pelo Método de Relação de Coortes: 1997 a 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 16 p.
- KELMAN, J. (1997). Gerenciamento de Recursos Hídricos – Parte I: Outorga. In: Anais do XII Simpósio de Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH.
- KLEEBERG, H. B.; OVERLAND, H.; PAUS, G. B. (1989). NAVMO, Version 1.1. Institut fur Wasserwesen, Universitat der Bundeswerh, Munchen.
- KOCH, E. (1996). A Watershed for Apartheid. NEW SCIENTIST, p. 12-13, april.
- LABADIE, J. W. (1988). MODSIM: Technical Manual, River Basin Network Model for Water Rights Planning. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

- LANNA, A. E. (1988). Planejamento e avaliação de projetos de recursos hídricos. Porto Alegre: IPH/UFRGS.
- LANNA, A. E. (1999). Gestão dos Recursos Hídricos. Apostila da disciplina Gestão dos Recursos Hídricos do curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. p. 1-120. In: <http://atlantico.iph.ufrgs.br/portalph/> (09/12/99).
- LANNA, A. E.; PEREIRA, J. S.; SILVA, L. M. (1997). Análise de Critérios de Outorga de Direito de Uso da Água. In: Anais do XII Simpósio de Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH.
- LEAL, M. S.; ROVERE, E. L. L. (1997). Aspectos institucionais na implantação do modelo de gestão de recursos hídricos. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 154, 155, 157. ABRH.
- LEDOUX, E.; GIRARD, G.; DE MARSILLY, G.; DESCHENES, J. (1989). Spatially distributed modeling: conceptual approach, coupling surface water and groundwater NATO. ASI Series C. In: Morel-Seytoux. X. (Ed.). Unsaturated Flow Hydrologic Modeling –theory and Practice, Kluwer Academic, Dordrecht, p. 435-454.
- LESSER, J. A.; DODDS, D. E.; ZERBE JR., R. O. (1997). Environmental Economics and Policy. Addison-Wesley Educational, p. 513-551.
- LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. (1981). Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, v. 1, p. 42-62. ABRH.
- LUCHINI, A. M. (2000). A Experiência Internacional em Gestão dos Recursos Hídricos – Algumas Considerações para o Brasil. In Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH.
- LUZ, L. D. (1994). Análise de Critérios Simplificados para Outorga dos Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Grande, Bahia: Uma Análise Multiobjetivo. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS, Porto Alegre, 114p.
- MCMAHON, T. A. & MEIN, R. G. (1986). River and Reservoir Yield. In: Water Resources Publications, Littleton, U.S.A.
- MEHROTRA, R.; SINGH, R. D. (1998). The Influence of Model Structure on the Efficiency of Rainfall-Runoff Models: A Comparative Study for Some

- Catchments of Central India. In: *Water Resources Management*, v. 12, n. 5, p.325-341.
- MENDES, C. A. B. (1996). Integração de modelos hidrológicos e sistema de informações geográficas: fundamentos. In: *RBRH*, v. 1, n. 1, p.48-65, janeiro/junho.
- MONTENEGRO, J. P. B. (1990). Caracterização hidrológica da infiltração e do escoamento superficial em uma micro-parcela sem vegetação do Cariri. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 139 p.
- NASH, J. E.; SUCLIFFE, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models, I, a discussion of principles. In: *Journal of Hydrology*, v. 10, p. 282-290.
- NOUVELOT, J.F. & FERREIRA, P.A.S. (1977). Bacia Representativa do Riacho do Navio, Série Hidrologia, n. 4, 249 p. SUDENE
- PAIVA, A. E. D. B. (2000). A Outorga de Direito de Uso da Água em Debate – Trabalho apresentado na disciplina Análise de Conflitos em Recursos Hídricos no Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil do DEC/CCT/UFPB, Campina Grande, 15p.
- PAIVA, A. E. D. B.; ALBUQUERQUE, D. J. S.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; ALMEIDA, C. N. (1999). Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia do Rio Taperoá – Estado da Paraíba. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte, novembro.
- PAIVA, A. E. D. B.; RIBEIRO, M. M. R. (2000). A Outorga dos Direito de Uso da Água na Bacia do Rio Gramame-PB. In: *Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Natal – RN. ABRH.
- PARAÍBA, Decreto nº 19.260 de 31 de Outubro de 1997.
- PARAÍBA, Lei nº 6.308 de 02 de Julho de 1997.
- PEREIRA, J. S. (1996). Análise de Critérios de Outorga e de Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio dos Sinos, RS. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS, Porto Alegre, 109p.
- PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. (1996). Análise de Critério de Outorga dos Direito de Uso da Água. In: *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Salvador – BA, p. 335-342. ABRH.
- PIRES, C. L. F. (1996). A Outorga de Uso na Gestão de Recursos Hídricos. In: *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Salvador – BA, p. 319-325. ABRH.

- PORTO, R. L. (1997). Estudos de Operação do Sistema França - São José do Jacuípe. Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, 1997
- PORTO, R. L. (1999). Estudos de Operação do Reservatório de Ponto Novo no Rio Itapicuru. Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia.
- RIBEIRO, M. M. R. (2000). Alternativas para a Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso. Tese de Doutorado, Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS, Porto Alegre, 200p.
- RIGHETTO, A. M. (1998). Hidrologia e Recursos Hídricos. Publicação da Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 840 p.
- SANEAMENTO BASICO. (2001). Paraíba – Desperdício de Água Chega a 40 %. In: [http://www.saneamentobasico.com.br/noticias.asp?ID\\_noticias=4178](http://www.saneamentobasico.com.br/noticias.asp?ID_noticias=4178) (26/03/01).
- SANTOS, F. J. L.; MENESES FILHO, A. S. (1998). Incerteza paramétrica do modelo IPH II. In: Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH.
- SCHAAKE, J. C. & LIU, C. (1989). Development and application of simple water balance models to understand relationship between climate and water resources. In: M. L. Kavvas (ed.), New Directions for Surface Water Modeling (Proceedings of the Baltimore Symposium, maio), IAHS Publ. n.189.
- SCHWARZBACH, M.; LANNA, A.E. (1989). MODHAC: Um modelo hidrológico auto-calibrável para avaliação de disponibilidades hídricas fluviais. In: Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 1, p. 483-496. ABRH.
- SCIENTEC. (1998). Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu no Território Paraibano – Estudos Fluviométricos e geração de vazões. 21 p, v. 3.
- SCIENTEC. (1999). Climatologia no Estado da Paraíba – Estudo da Qualidade dos Dados. 114p.
- SEMARH. (2000a). Plano Diretor da bacia hidrográfica do Rio Gramame. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. Convênio SEMARH/SCIENTEC. Volumes 1, 2, 3 e 4.
- SEMARH. (2000b). Sistema Adutor Abiaí-Papocas – Relatório Técnico Preliminar. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. Convênio SEMARH/SCIENTEC.



- SEPLAN. (1996). Plano Diretor da bacia hidrográfica do Rio do Peixe – Estudos de base. Secretaria do Planejamento do Governo do Estado da Paraíba. Convênio SEPLAN/SCIENTEC. Volumes 1 e 2.
- SEPLAN/PR – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (1994). PROJETO ÁRIDA - Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste. GT II Recursos Hídricos (autor: Walter Martins Filho e equipe). Brasília, setembro, 26p.
- SILANS, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; ALBURQUERQUE, D. J. S.; PAIVA, A. E. D. B. (2000). Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do Rio do Peixe – Estado da Paraíba. In: RBRH, v. 5, n.3, Jul./Set., p. 5-19.
- SILANS, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; PAIVA, A. E. D. B.; LEITE, R. A. (1998). Um modelo hidrológico distribuído para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos de regiões semi-áridas. In: Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Campina Grande – PB.
- SILVA JR, A. N.; PAIVA, A. E. D. B.; SILANS, A. M. B. P. (2000). Aplicação do Modelo hidrológico Distribuído AÇUMOD à Bacia Hidrográfica do Rio Gramame-Estado da Paraíba. In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal – RN, ABRH.
- SILVA, L M. C. (1997). Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Branco - BA. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS, Porto Alegre, 176p.
- SILVA, L. M. C.; LANNA, A. E. (1996). A Outorga de Direitos de Uso no Cerrado Baiano. In: Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador – BA, ABRH, p. 343-348.
- SILVA, M. A. V.; BRAGA, C.; AGUIAR, M. J. N.; NIETZSCHE, M. H.; SILVA, B. B. (1987). Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. Editora da Universidade Federal da Paraíba, 2ª Edição.
- SILVEIRA, A. L. L.; DESBORDES, M. (1999). Modelo hidrológico distribuído urbano com poucos parâmetros. In: RBRH, v.4, n.1, p.35-48, janeiro/março.

- SILVEIRA, G. L. (Coord.). (1993). Projeto Rio Santa Maria – Sistema de avaliação de disponibilidade hídrica fluvial para o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Santa Maria. Convênio SPO/CPH e UFSM. 112 p. relatório.
- SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. (1998). Outorga Para Uso dos Recursos Hídricos: Aspectos Práticos e Conceituais Para o Estabelecimento de um Sistema Informatizado. In: RBRH, v. 3, n. 3, p. 5-16.
- SOUZA FILHO, F. A., PORTO, R. L. (1996). Operação do Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza por Modelo de Rede de Fluxo. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, ABRH.
- SUDENE (1984). Dados climatológicos básicos do Nordeste. Recife: SUDENE, 56 p.
- SUDENE/DPV/PRN/APR. MOLLE, F e CADIER, E. (1992). Manual do Pequeno Açude. Recife.
- SUGAWARA, M. (1973). Automatic calibration of the Tank Model. In: Hydrological Science Bulletin, p. 375-358.
- THOMAS, H. A. & FIERING, M. B. (1962). Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. In: Design of Water Resources Systems (A. Maass et al., Eds.), Harvard University.
- TUCCI, C. E. M. (1987). Modelos hidrológicos para gerenciamento de recursos hídricos. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 395 p.
- TUCCI, C. E. M.; SANCHEZ, J.; SIMÕES LOPES, M.. (1981). Modelo matemático precipitação-vazão IPH II. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 63 p. (Recursos Hídricos, Publicação n. 3).
- VAN DER BEKEN, A. & BYLOOS, J. (1977). A monthly water balance model including deep infiltration and canal losses. In; Hydrol. Sci. Bull., v. 22, p. 341-351.
- VANDEWIELE, G. L.; XU, C. Y.; NI-LAR-WIN. (1992). Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma. In: Journal of Hydrology, v. 134, p. 315-347.
- VIEIRA, V. P. P. B. (1994). Desenvolvimento Sustentável e Gestão de Recursos Hídricos no Nordeste Semi-árido. In: Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH.
- VILLELA, S. M. & MATTOS, A. (1975). Hidrologia Aplicada – Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 245 p.

- WALLING, D. E. (1983). The sediment delivery problem. In: *Journal of Hydrology*, v. 65, p. 209-237.
- WATEAU, F. (2000). *Conflitos e Água de Rega – Ensaio sobre a Organização no Vale de Melgaço*. Publicações Dom Quixote, Lisboa.
- XU, Y. C.; SINGH, P.V. (1998). A review on monthly water balance models for water resources investigations. In: *Water Resources Management*, v. 12, n. 1, p.31-49.

## **8 - ANEXOS**

Anexo A.1 - Demandas para irrigação (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/mês) – sub-bacia: rio Gramame

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classificação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m <sup>3</sup> /mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
José Tavares de Oliveira	C28	Inhame	1	MP	285	9197,87	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
José Pedrosa Filho	C39	Inhame	1	MP	285,4	9198,29	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	0,5					0,7	1,3	0,9	0,9	1,4	0,8
		Batata doce	0,5					0,3	0,9	2,1	0,9	-	-
Joaquim Pedrosa	C39	Feijão	1	MP	285,29	9198,46	ac	1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
		Inhame	1					0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
Jacques Oliveira Torres	C29	Abacaxi	2	MP	284,05	9198,6	ac	3,1	3,6	3,7	3,8	3,8	3,4
		Coco	2					3,3	3,9	3,9	4,1	4,1	3,6
Paulo José Ferreira	C31	Abacaxi	20	M	281,44	9199,62	mc	30,8	36,5	36,8	38	38	33,6
Geraldo Paulino dos Santos	C27	Inhame	2	MP	284	9197,6	ac	1,8	2,1	2,2	3,2	3,5	3,5
Givanildo da Silva Melo	C40	Acerola	1	MP	285,56	9199,01	ac	1,3	1,6	1,7	1,8	1,8	1,5
		Inhame	1					0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
José Carlos Florino de Lima	C37	Feijão	2	MP	285,13	9197	ac	2,9	5,3	3,4	3,5	5,6	3,1
João Carlos do S. Ferreira	C27	Inhame	1	MP	283,76	9197,66	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
João P. dos Santos Neto	C26	Inhame	1	MP	283,67	9197,72	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
José Pedrosa Sobrinho	C39	Inhame	1	MP	285,4	9198,16	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
Maria José R. de Oliveira	C28	Inhame	2	MP	284,83	9197,73	ac	1,8	2,1	2,2	3,2	3,5	3,5
Ramos Tavares de Oliveira	C38	Inhame	1	MP	285,43	9197,79	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
Reginaldo Florindo de Lima	C23	Feijão	2	MP	285,05	9197,14	ac	2,9	5,3	3,4	3,5	5,6	3,1
Ronaldo T. de Oliveira	C38	Inhame	1	MP	285,19	9197,89	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
Severina Maria da Conceição	C42	Inhame	1	MP	286,34	9199,6	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
Severino Florindo de Lima	C37	Feijão	2	MP	285,13	9197	ac	2,9	5,3	3,4	3,5	5,6	3,1
Severino Otaviano da Silva	C42	Mamão	1	MP	286,37	9199,67	ac	1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classi- ficação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m3/mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Severino Otaviano da Silva	C42	Mandioca	1					2,1	2,4	2,5	2,5	2,5	2,2
Valdelito Tavares de Oliveira	C28	Feijão	2	MP	284,83	9197,73	ac	2,9	5,3	3,4	3,5	5,6	3,1
Raimundo Sequeiro Nonato	C27	Cana-de-açúcar	40	M	283,25	9198,29	cg	73,8	87,4	88,2	91,1	91,1	80,64
	C26	Cana-de-açúcar	60	G	283,5	9196,03		110,7	131,1	132,3	136,7	136,7	120,96
Giasa	C11	Cana-de-açúcar	900	MG	275,97	9186,93	cg	1476	1748,4	1764	1822,8	1822,8	1612,8
Aluisio Moura	C4	Feijão	4	P	268,23	9187,04	ac	5,7	10,7	6,9	7,1	11,1	6,3
		Abacaxi	2					3,1	3,6	3,7	3,8	3,8	3,4
Rafael Jácome Ribeiro da Costa	C3A	Cana-de-açúcar	15	M	267,1	9183,06	mc	24,6	29,1	29,4	30,4	30,4	26,9
Marcelo Ribeiro da Costa	C3	Batata doce	10	M	265,88	9183,06	mc	6,2	17,6	42,3	17,4	-	-
João Camilo	C20	Banana	1	MP	283,22	9189,49	g	1,4	2,2	2,2	2,8	2,8	2,5
Terezinha de Jesus M. da Cunha	C21	Feijão	0,5	MP	283,51	9190,08	ac	0,7	1,3	0,9	0,9	1,4	0,8
		Inhame	0,5					0,45	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9
		Capim	0,5					1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
Francisco Jeferson de Sá	C21	Capim	0,5	MP	283,56	9190,64	ac	1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
		Feijão	0,25					0,4	0,7	0,4	0,4	0,7	0,4
		Macaxeira	0,25					0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
César de Paiva Leite	C21	Capim	0,5	MP	283,82	9190,51	ac	1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
Olindina Vieira Batista	C21	Mamão	2	MP	283,36	9191,25	ac	2,9	3,4	3,4	3,5	3,5	3,1
		Batata doce	1					0,6	1,8	4,2	1,7	-	-
Álvaro Andrea Magliliano	C45	Mamão	10	M	285,38	9200,26	ac	14,4	17	17,2	17,7	17,7	15,7
		Inhame	5					4,5	5,3	5,4	8,1	8,7	8,6
Dinarte Santiago Brandão	C45	Mamão	7,5	M	285,86	9200,08	ac	10,8	12,7	12,9	13,3	13,3	11,8
		Inhame	7,5					6,75	8	8,1	12,2	13,1	13
José Tavares de Melo	C52	Capim	2,5	MP	290,65	9201,48	mc	5,1	6,1	6,1	6,3	6,3	5,6
Luiz Gonzaga Primo	C53	Mamão	10	M	292,66	9200,48	ac	14,4	17	17,2	17,7	17,7	15,7
		Abacaxi	25					38,5	45,6	46	47,5	47,5	42
Rinaldo Francisco da Silva	C54	Coco	1	MP	293,74	9200,62	ac	3,3	3,9	3,9	4,1	4,1	3,6
		Maracujá	1					1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6
Antônio Batista do Nascimento	C41	Coco	1	MP	286,32	9199,58	ac	3,3	3,9	3,9	4,1	4,1	3,6
		Inhame	1					0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
Ivan Sérgio T.da Silva	C42	Mamão	1	MP	286,36	9199,68	ac	1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6
		Feijão	1					1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
Luiz Joaquim da Silva	C30	Graviola	1,5	MP	284,25	9199,46	ac	2,2	2,5	2,6	2,7	2,7	2,4

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classificação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m3/mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Nilo Feitosa Ramalho	C31	Capim	0,5	MP	282,05	9200,07	mc	1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
Dinilton da Silva Oliveira	C55	Mamão	5	M	282,56	9188,51	ac	7,2	8,5	8,6	8,9	8,9	7,8
		Batata doce	5	MP	268,6	9185,48	ac	3,1	8,8	21,1	8,7	-	-
Genival Pedro Soares	C57	Mamão	1					1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6
		Inhame	2					1,8	2,1	2,2	3,2	3,5	3,5
Pedro Gonçalves de Andrade	C60	Batata doce	3	P	264,74	9182,48	ac; mc	1,8	5,3	12,7	5,2	-	-
		Macaxeira	4					8,2	9,7	9,8	10,1	10,1	9
Pércio Márcio de Miranda Cabral	C61	Mamão	0,8	MP	283,08	9189	ac	1,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
		Maracujá	0,8					1,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
<b>Total</b>			<b>1193,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1924</b>	<b>2321,2</b>	<b>2368,1</b>	<b>2411,2</b>	<b>2403,6</b>	<b>2112,6</b>

Total de irrigantes: 42; Demanda anual (x103 m3/ano): 13.540,20

(\*)

MP - Muito Pequena (< 5 ha)  
P - Pequena (5 a < 10 ha)  
M - Média (10 a < 50 ha)  
G - Grande (50 a < 100 ha)  
MG - Muito Grande (> 100 ha)

(\*\*)

ac - aspersão convencional móvel  
mc - aspersão c/mini canhão  
cg - aspersão c/canhão gigante  
pc - pivô central  
ma - micro aspersão  
g - gotejamento

Anexo A.2 - Demandas para irrigação (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/mês) – sub-bacia: rio Mamuaba

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classificação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m <sup>3</sup> /mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Leosvaldo Pereira da Silva	C16	Abacaxi	30	M	279,4	9198,77	pc; ac	46,2	54,715	55,2	57,04	57,04	50,4
Leonardo Pereira da Silva	C14	Abacaxi	42	M	278,46	9198,43	pc	64,68	76,6	77,28	79,9	79,9	70,56
Milton Pereira Pontes	C9	Abacaxi	4	P	274,01	9191,64	ac	6,2	7,3	7,4	7,6	7,6	6,7
		Inhame	1,4					1,26	1,5	1,5	2,3	2,4	2,4
Ednaldo Teixeira	C8	Inhame	1	P	274,26	9193,84	ac	0,9	1,1	1,1	1,6	1,7	1,7
		Abacaxi	1					1,5	1,8	1,8	1,9	1,9	1,7
		Coco	1					1,64	1,9	1,96	2	2	1,8
		Laranja	1					1,435	1,7	1,715	1,8	1,8	1,6
João Vicente Lima	C9	Abacaxi	2,5	P	273,98	9192,34	ac	3,9	4,6	4,6	4,8	4,8	4,2
		Macaxeira	2,5					5,1	6,1	6,1	6,3	6,3	5,6
Levi Pessoa	C8	Feijão	1	MP	274,13	9194,27	ac	1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
		Milho	1					0,8	1,9	2,8	2,5	0	0
		Inhame	2					1,8	2,1	2,2	3,2	3,5	3,5
José Alves da Silva	C5	Feijão	1	MP	269,62	9190,3	ac	1,4	2,7	1,7	1,8	2,8	1,6
		Batata doce	1					0,6	1,8	4,2	1,7	-	-
Aderaldo Inácio dos Anjos	C15	Abacaxi	16	M	279,7	9197,08	pc	24,6	29,2	29,4	30,4	30,4	26,9
		Mamão	16					23	27,2	27,4	28,4	28,4	25,1
Giasa	C24	Cana-de-açúcar	600	MG	276,1	9186,38	cg	984	1165,6	1176	1215,2	1215,2	1075,2
Clóvis Marinho Falcão Leal	C15	Abacaxi	15	M	279,03	9197,3	pc	23,1	27,4	27,6	28,5	28,5	25,2
Oriosvaldo Batista de Almeida	C15	Abacaxi	15	M	279	9196,46	ac	23,1	27,4	27,6	28,5	28,5	25,2
		Mamão	1					1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6
José Mário Barbosa	C59	Abacaxi	1	P	269,29	9189,05	ac; mc	1,5	1,8	1,8	1,9	1,9	1,7
		Batata doce	2					1,2	3,5	8,5	3,5	-	-
		Feijão	2					2,9	5,3	3,4	3,5	5,6	3,1
Severino Alves de Oliveira	C62	Abacaxi	10	M	268,55	9188,16	ac	15,4	18,2	18,4	19	19	16,8
Jeneton Firme da Silva	C7	Abacaxi	10	M	271,3	9191,64	cg	15,4	18,2	18,4	19	19	16,8
		Cana-de-açúcar	32					59	69,9	70,6	72,9	72,9	64,5
<b>Total</b>			<b>812,4</b>	-	-	-	-	<b>1313,4</b>	<b>1563,9</b>	<b>1582</b>	<b>1628,84</b>	<b>1625,7</b>	<b>1435,5</b>
								<b>Total de irrigantes: 14; Demanda anual (x103 m<sup>3</sup>/ano): 9.149,43</b>					



Anexo A.3 - Demandas para irrigação (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/mês) – sub-bacia: rio Mumbaba

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classificação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m3/mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
José Francisco de Queiroga	C25	Abacaxi	16	M	280,51	9199,38	ac	24,64	29,2	29,44	30,4	30,4	26,88
José Augusto Inácio	C13	Fruticultura	12	M	279,57	9199,7	ma	17,2	20,4	20,6	21,3	21,3	18,8
José João de Jesus	C13	Mandioca	2	MP	278,81	9199,46	ac	4,1	4,9	4,9	5,1	5,1	4,5
João Xavier de Araújo	C18	Abacaxi	30	M	279,1	9201,23	ac	46,2	54,7	55,2	57	57	50,4
Marcos Frederico R. R. Coutinho	C19	Abacaxi	34	G	279,4	9202,44	pc	52,36	62	62,56	64,6	64,6	57,1
		Cana-de-açúcar	34					62,7	74,3	75	77,5	77,5	68,5
Cláudio Cunha Borges	C19	Cana-de-açúcar	3	P	279,64	9201,57	ac	5,5	6,6	6,6	6,8	6,8	6
		Feijão	3					4,3	8	5,1	5,3	8,4	4,7
Cláudio Bezerra de Souza	C34	Abacaxi	27,5	G	279,12	9203,18	pc	42,35	50,2	50,6	52,3	52,3	46,2
		Feijão	27,5					39,5	73,5	47,2	48,7	76,6	43,1
Manuel Aureliano da Costa	C19	Cana-de-açúcar	36,6	MG	277,99	9203,48	pc	67,5	80	80,7	83,4	83,4	73,8
		Feijão	36,6					52,5	97,8	62,8	64,9	101,9	57,4
		Mamão	36,6					52,5	62,2	62,8	64,9	64,9	57,4
João José de Vasconcelos	C35	Mamão	28	M	282,51	9202,96	ac	40,2	47,6	48	49,6	49,6	43,9
		Abacaxi	10,6					16,3	19,3	19,5	20,2	20,2	17,8
		Inhame	6					5,4	6,4	6,5	9,7	10,5	10,4
		Graviola	10,6					15,2	18	18,2	18,8	18,8	16,6
		Pinha	10,6					15,2	18	18,2	18,8	18,8	16,6
Petrônio Cavalcanti C.H.T.de Melo	C47	Capim	9	P	285,54	9204,59	mc	18,5	21,9	22,1	22,8	22,8	20,2
José Williams	C47	Capim	7	P	285,98	9204,55	mc	14,4	17	17,2	17,7	17,7	15,7
João Travassos	C46	Coco	5	P	286,3	9204,59	mc	8,2	9,7	9,8	10,1	10,1	9
José Cassimiro Pereira	C6	Abacaxi	2	MP	266,81	9200,57	ac	3,1	3,6	3,7	3,8	3,8	3,4
		Batata-doce	2					1,2	3,5	8,5	3,5	-	-
José Paulo Fonseca	C6	Abacaxi	2	MP	266,81	9200,57	ac	3,1	3,6	3,7	3,8	3,8	3,4
		Batata-doce	2					1,2	3,5	8,5	3,5	-	-
Jorge Luiz Borba Campos	C2	Batata-doce	2	MP	262,96	9192,69	ac	1,2	3,5	8,5	3,5	-	-
Assentamento INCRA	C1	Feijão	7	M	261,33	9193,01	ac	10	18,7	12	12,4	19,5	11
		Inhame	7					6,3	7,5	7,6	11,4	12,2	12,1
		Batata-doce	6					3,7	10,6	25,4	10,4	-	-
Alcides	C12	Abacaxi	0,5	MP	276,11	9199,1	ac	0,77	0,9	0,92	1	1	0,84

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classi- ficação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m3/mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Antônio Luiz da Silva	C33	Mamão	4	P	281,36	9202,25	ac	5,74	6,8	6,86	7,1	7,1	6,3
		Abacaxi	2					3,08	3,6	3,68	3,8	3,8	3,36
		Pimentão	2					1,85	3,65	5,64	4,56	-	-
Cleudo da Costa Bezerra	C32	Abacaxi	15	M	280,67	9202,22	ac; mc	23,1	27,4	27,6	28,5	28,5	25,2
		Pimentão	5					4,63	9,12	14,1	11,39	-	-
Joedilson Azevedo de Vasconcelos	C12	Capim	0,5	MP	276,57	9198,51	ac	1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
Ivanoé Agostinho Neto Schuler	C37	Abacaxi	6	P	280,96	9202,08	ac	9,24	10,9	11,04	11,4	11,4	10,08
José Américo Tavares Filho	C10	Abacaxi	42	M	273,42	9199,41	pc	64,68	76,6	77,28	79,9	79,9	70,56
Roberto Ribeiro Borges	C36	Laranja	1	MP	280,82	9203,1	mc	1,435	1,7	1,715	1,8	1,8	1,6
		Capim	1,5					3,1	3,6	3,7	3,8	3,8	3,4
José Bernades de Sousa	C58	Batata-doce	0,5	MP	265,52	9198,63	ac	0,3	0,9	2,1	0,9	-	-
Francisco Ferreira da Silva	C56	Batata-doce	18	M	261,44	9194,84	ac	11,1	31,7	76,1	31,2	-	-
		Macaxeira	2					4,1	4,9	4,9	5,1	5,1	4,5
		Batata	2					1,9	3,6	5,6	4,6	-	-
		Feijão	2					2,9	5,3	3,4	3,5	5,6	3,1
Severino Antonio da Silva	C63	Batata-doce	1	MP	264,98	9199,22	ac	0,6	1,8	4,2	1,7	-	-
		Inhame	0,5					0,5	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9
<b>Total</b>			<b>521,1</b>	-	-	-	-	<b>774,58</b>	<b>1030</b>	<b>1051,4</b>	<b>1004,6</b>	<b>1008</b>	<b>825,82</b>

Total de irrigantes: 26; Demanda anual (x103 m3/ano): 5.694,95

Anexo A.4 - Demandas para irrigação ( $10^3 \text{ m}^3/\text{mês}$ ) - sub-bacia: rio Água Boa

Irrigante	Código da Captação	Cultura	Área (ha)	Classificação(*)	Coordenadas UTM (km)		Método de Irrigação (**)	Demanda Mensal (x103 m <sup>3</sup> /mês)					
					X	Y		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Marcos Antônio Inácio	C43	Capim	5	P	288,28	9199,16	mc	10,3	12,1	12,3	12,7	12,7	11,2
		Banana	1					1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6
		Feijão	0,5					0,7	1,3	0,9	0,9	1,4	0,8
		Milho	0,5					0,4	1	1,4	1,3	0	0
Aderaldo Inácio dos Anjos	C44	Mamão	10	M	289,48	9199,38	ac	14,4	17	17,2	17,7	17,7	15,7
Cal	C44	Mamão	10	M	289,5	9199,13	ac	14,4	17	17,2	17,7	17,7	15,7
Ricardo Pedrosa Maroja	C51	Batata doce	4	MP	293,43	9198,73	mc	2,5	7,1	16,9	6,9	-	-
Roland	C49	Mamão	0,2	MP	291,46	9195,08	ac	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3
		Inhame	0,2					0,18	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
		Coco	0,1					0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Marcílio Tavares de Melo	C50	Abacaxi	36	M	292,71	9196,41	ac	55,4	65,7	66,2	68,4	68,4	60,5
José Furtado da Silva	C48	Acerola	3,8	MP	291,98	9194,97	ac	5,1	6	6,5	6,7	6,7	5,5
		Capim	1					2,1	2,4	2,5	2,5	2,5	2,2
Antônio Maia	C49	Mamão	6	P	291,7	9195,04	ac	8,6	10,2	10,3	10,6	10,6	9,4
		Inhame	0,3					0,27	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
		<b>Total</b>	<b>78,6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>116,25</b>	<b>142,5</b>	<b>154,1</b>	<b>148,6</b>	<b>140,9</b>	<b>123,9</b>
								<b>Total de irrigantes: 8; Demanda anual (x103 m<sup>3</sup>/ano): 826,25</b>					







Anexo B.16 - CENÁRIO 10 B																							
	Montante Gramame								Jusante Gramame-Mamuaba			Montante Mumbaba				CAGEPA - JP		Água Boa					
	Abastecimento	Irrigação							Indústria	Irrigação		Irrigação				Abastecimento	Abastecimento	Irrigação					
	347	346a	346b	302a	265	219	185a	185b	329	302b	132a	132b	158	88	79	42a	42b	132	43	194	133	136	
Demanda Média Anual (m3/s)	0,020	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,110	0,228	0,040	0,057	0,068	0,004	0,020	0,188	0,043	1,370	1,590	0,020	0,013	0,023	
Faixa Percentual	15,33%	19,33%	38,08%	37,92%	47,17%	5,17%	8,17%	25,76%	22,08%	1,33%	1,33%	1,33%	28,58%	11,25%	17,50%	17,00%	17,25%	0,00%	0,00%	10,17%	5,00%	8,67%	13,33%
Faixa Volumétrica	12,08%	38,71%	83,10%	81,88%	93,40%	10,70%	9,18%	33,80%	27,26%	2,71%	2,75%	2,71%	73,36%	33,30%	34,83%	34,09%	34,51%	0,00%	5,30%	4,33%	10,89%	22,75%	
Duração Média	1,843	1,883	4,018	4,000	4,785	1,348	1,348	2,421	2,000	4,000	4,000	4,000	3,200	2,388	3,500	4,000	4,000	0,000	3,583	1,111	1,250	1,894	
Duração Máxima	7,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,000	8,000	8,000	8,000	8,000	4,000	8,000	8,000	8,000	0,000	8,000	2,000	4,000	5,000	
Magnitude Média	0,229	0,046	0,073	1,462	0,079	0,023	0,143	0,812	0,271	1,838	0,330	0,468	0,075	0,030	0,139	1,344	0,349	0,000	2,875	0,019	0,027	0,067	
Magnitude Máxima	0,110	0,140	0,100	0,100	0,100	0,100	0,850	3,810	1,280	2,710	0,480	0,690	0,110	0,050	0,240	2,010	0,510	0,000	8,330	0,040	0,100	0,230	
Severidade Média	0,019	0,023	0,018	0,363	0,016	0,017	0,098	0,384	0,125	0,465	0,082	0,118	0,023	0,012	0,039	0,328	0,084	0,000	0,750	0,017	0,021	0,039	
Severidade Máxima	0,020	0,040	0,020	0,473	0,020	0,020	0,150	0,640	0,250	0,473	0,085	0,120	0,050	0,020	0,040	0,348	0,088	0,000	1,380	0,020	0,030	0,050	

Anexo B.17 - CENÁRIO 11A																						
	Montante Gramame								Jusante Gramame-Mamuaba			Montante Mumbaba				CAGEPA - JP		Água Boa				
	Abastecimento	Irrigação							Indústria	Irrigação		Irrigação				Abastecimento	Abastecimento	Irrigação				
	347	346a	346b	302a	265	219	185a	185b	329	302b	132a	132b	188	88	79	42a	42b	132	43	194	133	136
Demanda Média Anual (m3/s)	0,020	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,110	0,228	0,040	0,057	0,069	0,004	0,020	0,188	0,043	1,370	1,590	0,020	0,013	0,023
Faixa Percentual	8,33%	20,75%	39,00%	39,56%	47,17%	9,92%	11,87%	29,92%	28,75%	9,42%	7,42%	9,33%	30,33%	15,25%	29,75%	27,33%	27,92%	0,00%	7,33%	6,92%	7,92%	14,42%
Faixa Volumétrica	8,53%	38,71%	84,20%	85,38%	95,40%	18,70%	19,93%	42,57%	30,29%	17,75%	15,69%	19,41%	75,84%	45,80%	53,38%	53,91%	58,20%	0,00%	3,85%	5,19%	12,44%	25,46%
Duração Média	1,353	2,000	4,114	4,070	4,785	1,519	1,587	2,887	2,430	4,310	1,758	1,331	3,434	2,731	3,559	3,722	3,722	0,000	3,034	1,221	1,357	1,747
Duração Máxima	4,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	9,000	8,000	8,000	8,000	8,000	4,000	8,000	8,000	8,000	0,000	8,000	3,000	4,000	5,000
Magnitude Média	0,328	0,043	0,074	1,554	0,078	0,024	0,180	1,147	0,250	2,764	0,147	0,208	0,080	0,034	0,145	1,204	0,318	0,000	2,535	0,028	0,028	0,072
Magnitude Máxima	0,160	0,140	0,100	0,100	0,100	0,100	0,880	3,810	1,280	2,710	0,480	0,690	0,110	0,050	0,240	2,010	0,510	0,000	8,330	0,070	0,110	0,240
Severidade Média	0,019	0,021	0,018	0,375	0,016	0,016	0,118	0,407	0,113	0,410	0,082	0,110	0,023	0,012	0,039	0,304	0,084	0,000	0,745	0,022	0,021	0,040
Severidade Máxima	0,020	0,040	0,020	0,473	0,020	0,020	0,150	0,640	0,250	0,473	0,100	0,120	0,050	0,020	0,040	0,348	0,088	0,000	1,380	0,020	0,030	0,050

Anexo B.18 - CENÁRIO 11B																							
	Montante Gramame								Jusante Gramame-Mamuaba			Montante Mumbaba				CAGEPA - JP		Água Boa					
	Abastecimento	Irrigação							Indústria	Irrigação		Irrigação				Abastecimento	Abastecimento	Irrigação					
	347	346a	346b	302a	265	219	185a	185b	329	302b	132a	132b	188	88	79	42a	42b	132	43	194	133	136	
Demanda Média Anual (m3/s)	0,020	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,110	0,228	0,040	0,057	0,069	0,004	0,020	0,188	0,043	1,370	1,590	0,020	0,013	0,023	
Faixa Percentual	8,33%	19,33%	38,08%	37,92%	47,17%	5,42%	8,23%	29,92%	22,42%	1,78%	1,42%	1,83%	28,87%	11,25%	17,83%	17,03%	17,53%	0,00%	0,00%	10,33%	6,92%	7,92%	14,42%
Faixa Volumétrica	8,53%	35,88%	83,10%	81,45%	93,40%	11,20%	9,93%	33,39%	27,37%	3,45%	2,92%	3,64%	73,45%	33,80%	35,59%	34,70%	35,27%	0,00%	5,38%	5,19%	12,44%	25,46%	
Duração Média	1,353	1,984	4,018	3,991	4,785	1,383	1,339	2,418	2,015	2,333	1,480	1,444	3,215	2,358	3,482	3,525	3,581	0,000	3,543	1,221	1,357	1,747	
Duração Máxima	4,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	9,000	8,000	8,000	8,000	8,000	4,000	8,000	8,000	8,000	0,000	8,000	3,000	4,000	5,000	
Magnitude Média	0,328	0,043	0,073	1,481	0,072	0,024	0,143	0,913	0,270	1,838	0,280	0,279	0,076	0,030	0,137	1,316	0,359	0,000	2,525	0,028	0,028	0,072	
Magnitude Máxima	0,160	0,140	0,100	0,100	0,100	0,100	0,850	3,810	1,280	2,710	0,480	0,690	0,110	0,050	0,240	2,010	0,510	0,000	8,330	0,070	0,110	0,240	
Severidade Média	0,019	0,023	0,018	0,363	0,016	0,017	0,098	0,383	0,124	0,465	0,082	0,111	0,023	0,012	0,039	0,304	0,084	0,000	0,745	0,022	0,021	0,040	
Severidade Máxima	0,020	0,040	0,020	0,473	0,020	0,020	0,150	0,640	0,250	0,473	0,100	0,120	0,050	0,020	0,040	0,348	0,088	0,000	1,380	0,020	0,030	0,050	

Anexo B.19 - CENÁRIO 12A																						
	Montante Gramame								Jusante Gramame-Mamuaba			Montante Mumbaba				CAGEPA - JP		Água Boa				
	Abastecimento	Irrigação							Indústria	Irrigação		Irrigação				Abastecimento	Abastecimento	Irrigação				
	347	346a	346b	302a	265	219	185a	185b	329	302b	132a	132b	188	88	79	42a	42b	132	43	194	133	136
Demanda Média Anual (m3/s)	0,020	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,110	0,228	0,040	0,057	0,069	0,004	0,020	0,188	0,043	1,370	1,590	0,020	0,013	0,023
Faixa Percentual	8,33%	25,17%	40,87%	40,13%	47,33%	15,50%	18,75%	35,73%	35,35%	13,67%	15,73%	16,87%	28,93%	7,25%	7,50%	6,83%	6,92%	0,00%	0,00%	8,92%	7,92%	14,42%
Faixa Volumétrica	8,53%	48,21%	86,20%	70,88%	95,70%	31,80%	35,81%	64,17%	58,17%	36,53%	34,13%	37,64%	89,68%	21,40%	14,48%	12,10%	13,90%	0,00%	0,00%	5,19%	12,44%	25,46%
Duração Média	1,553	2,414	4,283	4,283	4,782	2,110	2,173	2,988	3,190	2,388	2,339	2,388	2,826	1,891	2,167	3,182	3,231	0,000	2,500	1,221	1,357	1,747
Duração Máxima	4,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	9,000	8,000	8,000	8,000	8,000	4,000	8,000	8,000	8,000	0,000	8,000	3,000	4,000	5,000
Magnitude Média	0,228	0,052	0,073	1,833	0,079	0,034	0,291	1,435	0,288	1,942	0,190	0,271	0,070	0,020	0,083	0,983	0,273	0,000	2,330	0,028	0,028	0,072
Magnitude Máxima	0,080	0,140	0,100	0,100	0,100	0,100	0,850	3,810	1,280	2,710	0,480	0,690	0,110	0,050	0,240	2,010	0,510	0,000	8,330	0,070	0,110	0,240
Severidade Média	0,019	0,021	0,018	0,388	0,016	0,016	0,129	0,453	0,111	0,490	0,085	0,114	0,023	0,012	0,037	0,281	0,082	0,000	0,745	0,022	0,021	0,040
Severidade Máxima	0,020	0,040	0,020	0,484	0,020	0,020	0,150	0,620	0,250	0,480	0,100	0,120	0,050	0,020	0,040	0,348	0,088	0,000	1,380	0,020	0,030	0,050

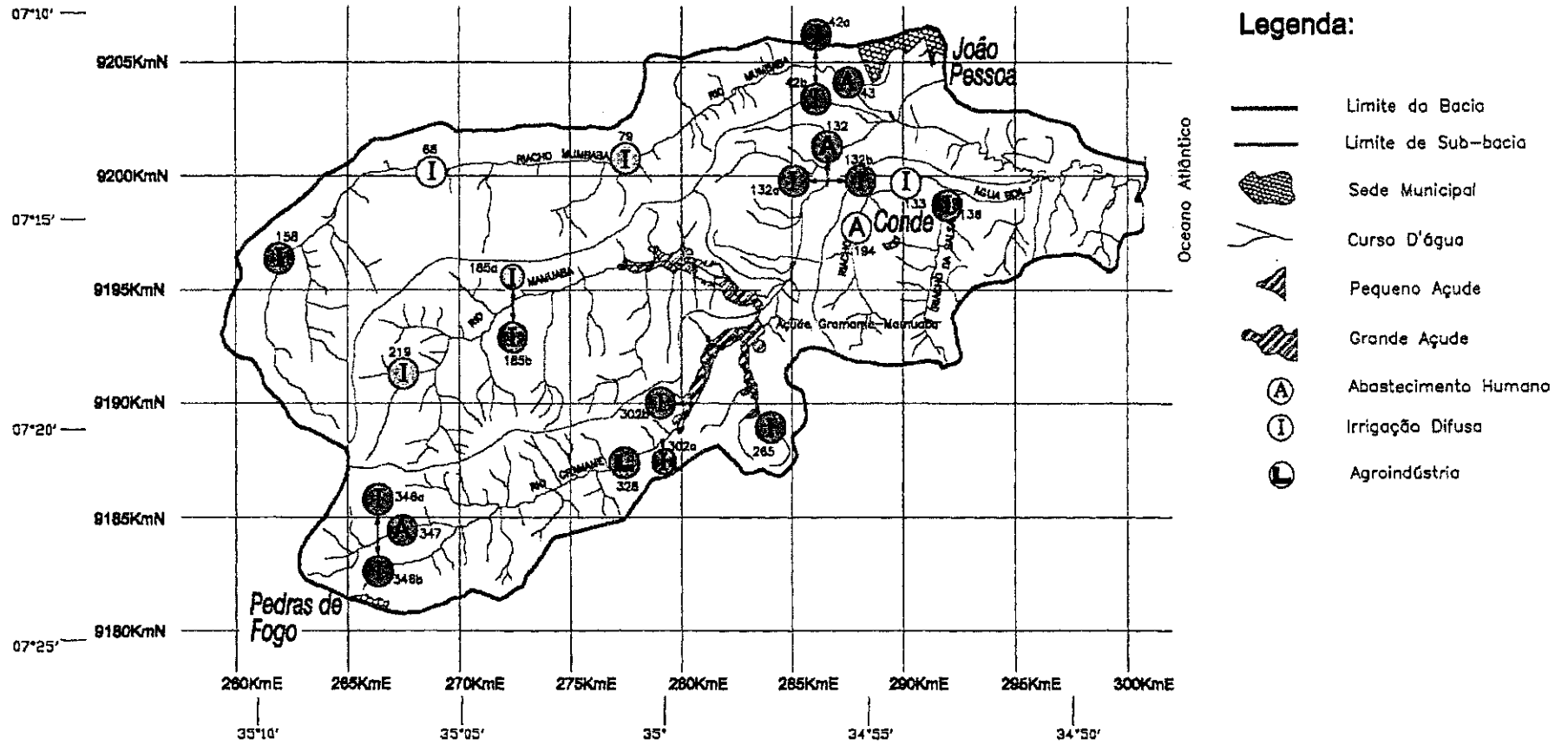
Anexo B.20 - CENÁRIO 14																						
	Montante Gramame								Jusante Gramame-Mamuaba			Montante Mumbaba				CAGEPA - JP		Água Boa				
	Abastecimento	Irrigação							Indústria	Irrigação		Irrigação				Abastecimento	Abastecimento	Irrigação				
	347	346a	346b	302a	265	219	185a	185b	329	302b	132a	132b	188	88	79	42a	42b	132	43	194	133	136
Demanda Média Anual (m3/s)	0,020	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,110	0,228	0,040	0,057	0,069	0,004	0,020	0,188	0,043	1,370	1,590	0,020	0,013	0,023
Faixa Percentual	0,00%	28,25%	38,17%	25,25%	47,17%	16,87%	17,87%	35,50%	24,87%	17,67%	14,58%	17,33%	28,17%	8,67%	6,25%	5,93%	5,42%	0,00%	0,00%	8,92%	7,92%	14,42%
Faixa Volumétrica	0,00%	45,84%	74,40%	42,72%	93,30%	30,00%	32,50%	52,81%	22,73%	34,43%	31,63%	38,80%	88,84%	19,42%	11,98%	9,80%	10,					

	Anexo B.21 - CENÁRIO 15											
	Montante Gramma			Jusante Gramma-Marmata			Montante Marmata			CAGEPA - JP		
	Abastecimento	Industria	Irrigação	Abastecimento	Industria	Irrigação	Abastecimento	Industria	Irrigação	Abastecimento	Industria	Irrigação
Demanda Média Anual (m³/s)	3454	3454	3228	285	219	1854	1854	1854	1854	1854	1854	1854
Faixa Percentual	0,020	0,033	0,225	0,508	0,802	0,072	0,301	0,716	0,425	0,342	0,657	0,559
Faixa Volumétrica	8,92%	13,17%	28,08%	37,72%	5,00%	6,33%	27,88%	23,33%	3,75%	1,93%	4,96%	28,17%
Duração Máxima	1,382	4,013	3,982	4,795	1,199	1,169	2,441	2,022	1,494	1,438	1,829	2,807
Magnitude Máxima	4,000	8,000	8,000	6,000	3,000	3,000	6,000	9,000	3,500	2,500	3,000	5,000
Severidade Máxima	0,026	0,140	0,193	0,073	0,019	0,120	0,574	0,251	0,125	0,152	0,107	0,281
Severidade Média	0,019	0,022	0,015	0,016	0,009	0,030	0,359	0,119	0,245	0,179	0,023	0,012
Severidade Mínima	0,070	0,040	0,073	0,070	0,150	0,646	0,250	0,435	0,100	0,117	0,250	0,270

	Anexo B.22 - CENÁRIO 16											
	Montante Gramma			Jusante Gramma-Marmata			Montante Marmata			CAGEPA - JP		
	Abastecimento	Industria	Irrigação	Abastecimento	Industria	Irrigação	Abastecimento	Industria	Irrigação	Abastecimento	Industria	Irrigação
Demanda Média Anual (m³/s)	3454	3454	3328	295	213	1854	1854	1854	1854	1854	1854	1854
Faixa Percentual	0,17%	13,60%	25,56%	47,28%	5,00%	6,50%	27,49%	13,75%	3,25%	1,81%	4,98%	28,17%
Faixa Volumétrica	2,77%	31,45%	75,70%	37,45%	5,83%	8,18%	34,89%	14,15%	6,92%	7,74%	68,84%	19,40%
Duração Máxima	3,000	1,904	3,752	4,794	1,194	1,215	2,441	1,824	1,432	1,439	1,739	2,807
Magnitude Máxima	0,240	0,026	0,063	1,232	0,215	0,121	0,426	0,205	0,124	0,145	0,110	0,281
Severidade Máxima	0,552	0,017	0,017	0,015	0,015	0,067	0,267	0,104	0,245	0,182	0,023	0,012
Severidade Média	0,432	0,017	0,015	0,015	0,015	0,067	0,267	0,104	0,245	0,182	0,023	0,012
Severidade Mínima	0,432	0,015	0,015	0,015	0,015	0,067	0,267	0,104	0,245	0,182	0,023	0,012

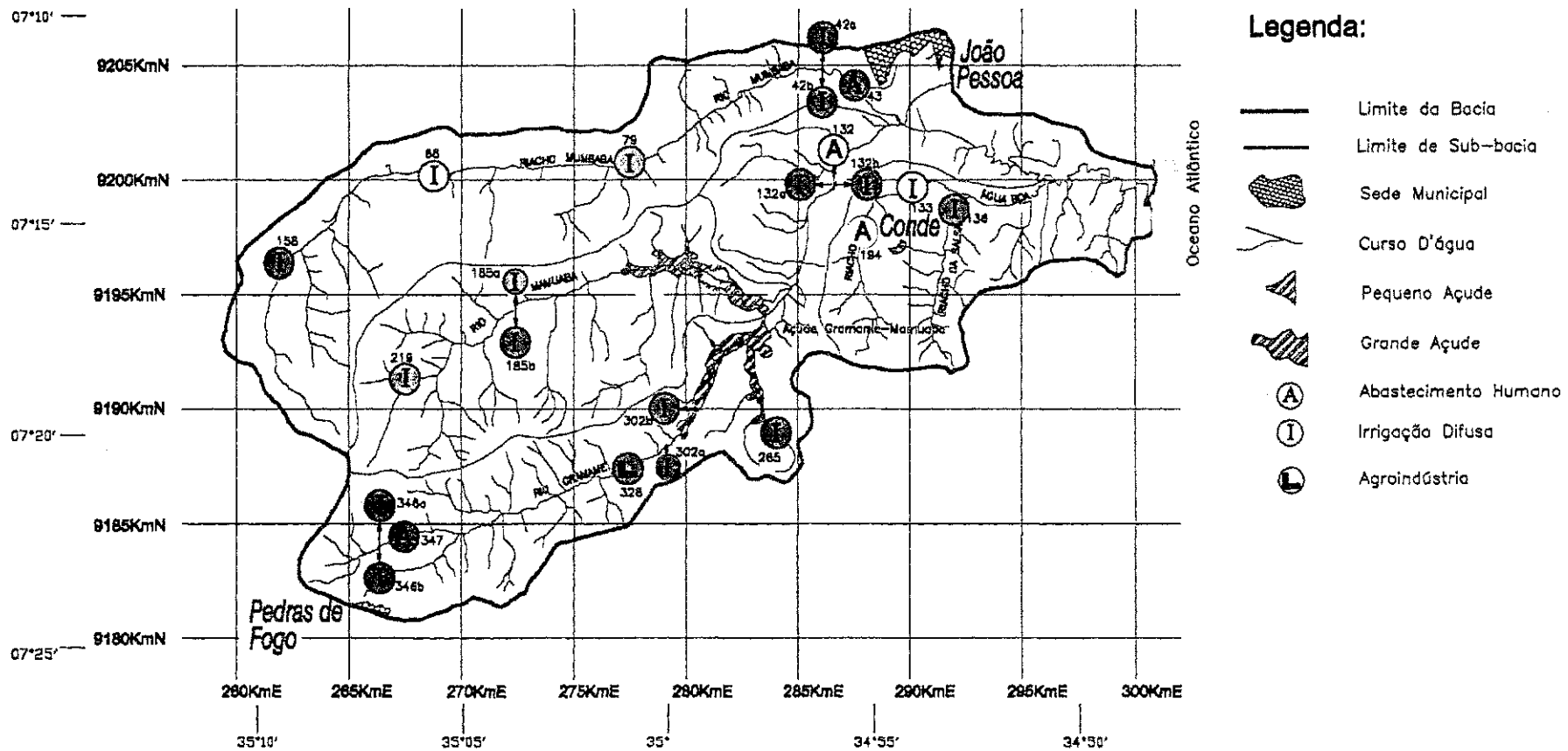


# BACIA DO RIO GRAMAME



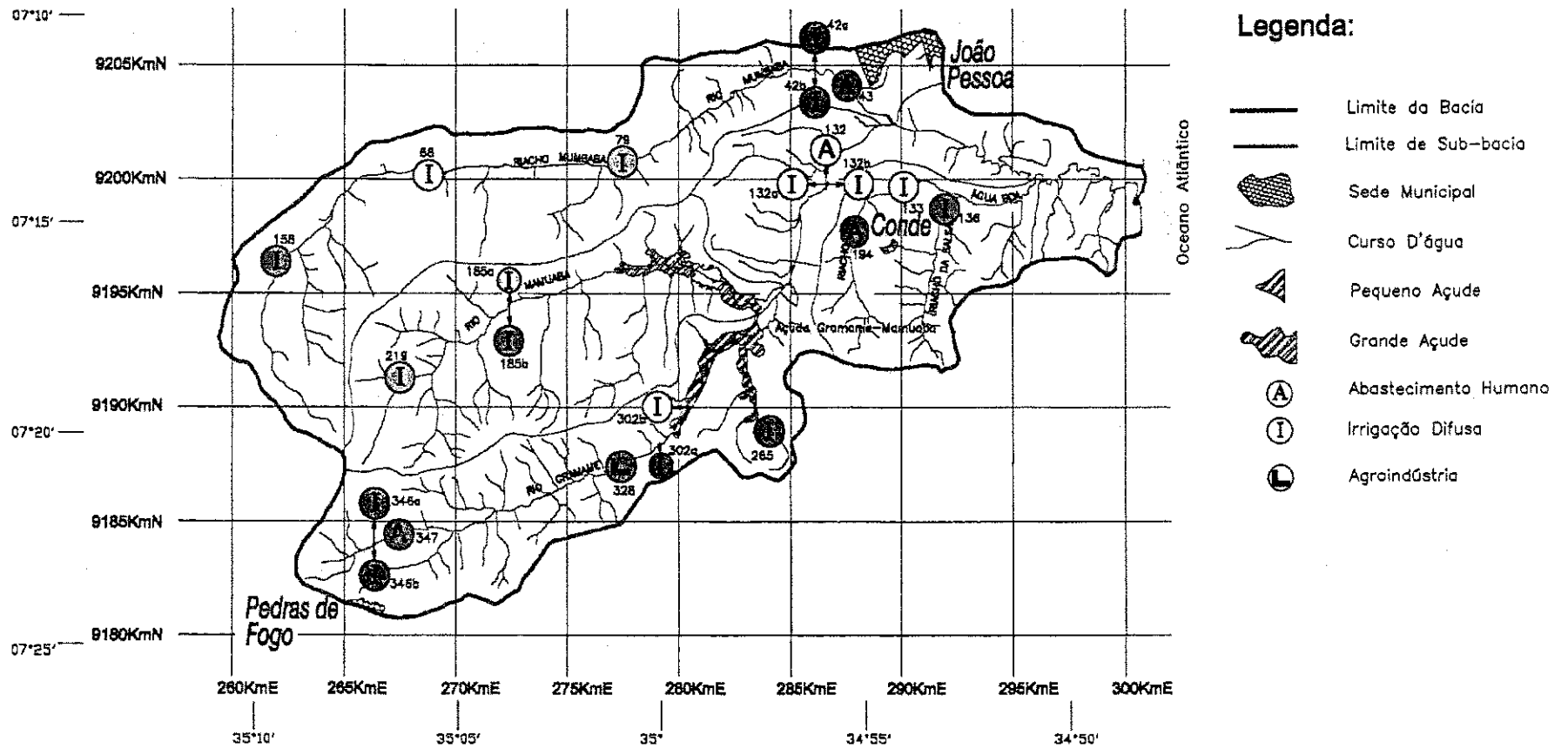
Anexo C.1 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenários 1 e 2

# BACIA DO RIO GRAMAME



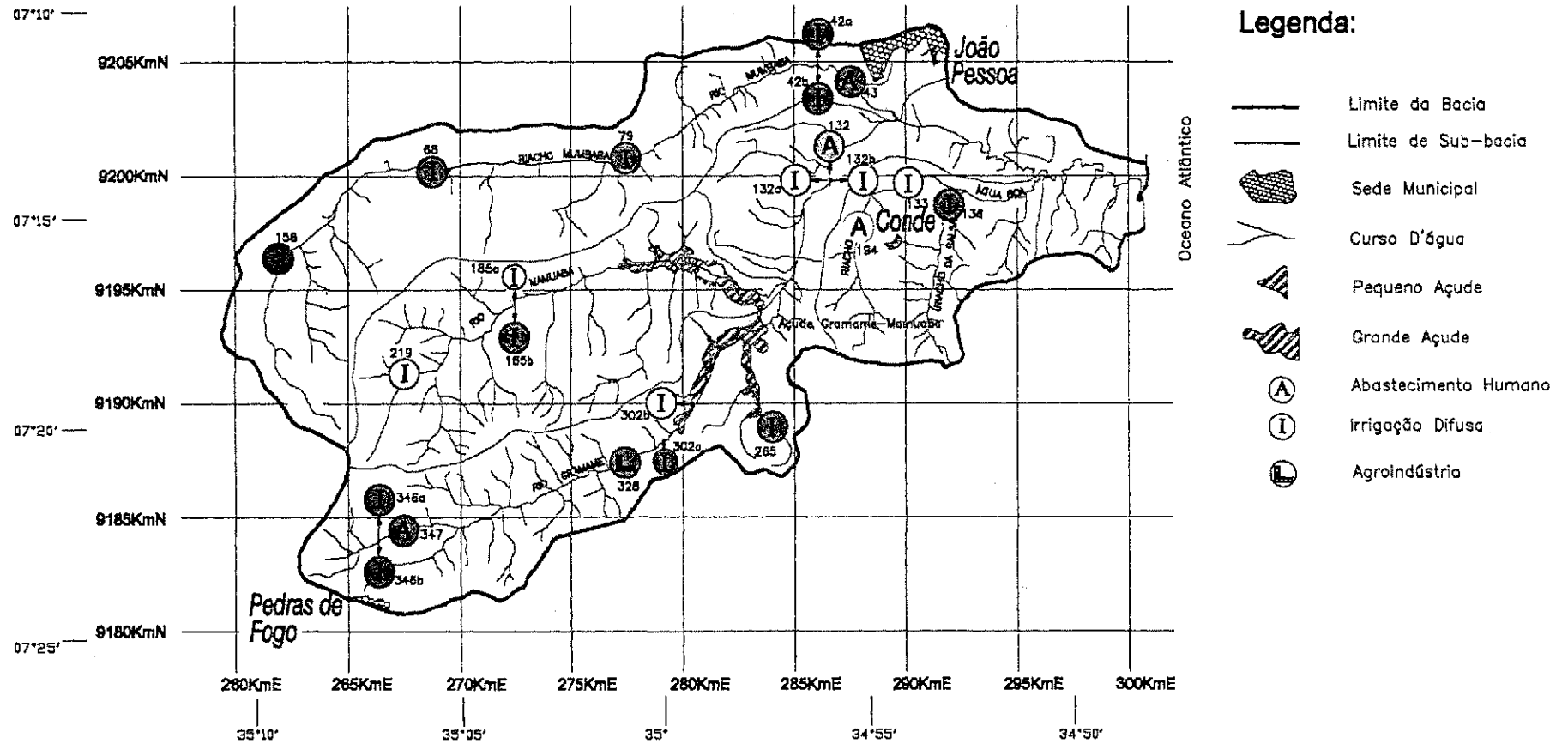
Anexo C.2 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 3

# BACIA DO RIO GRAMAME



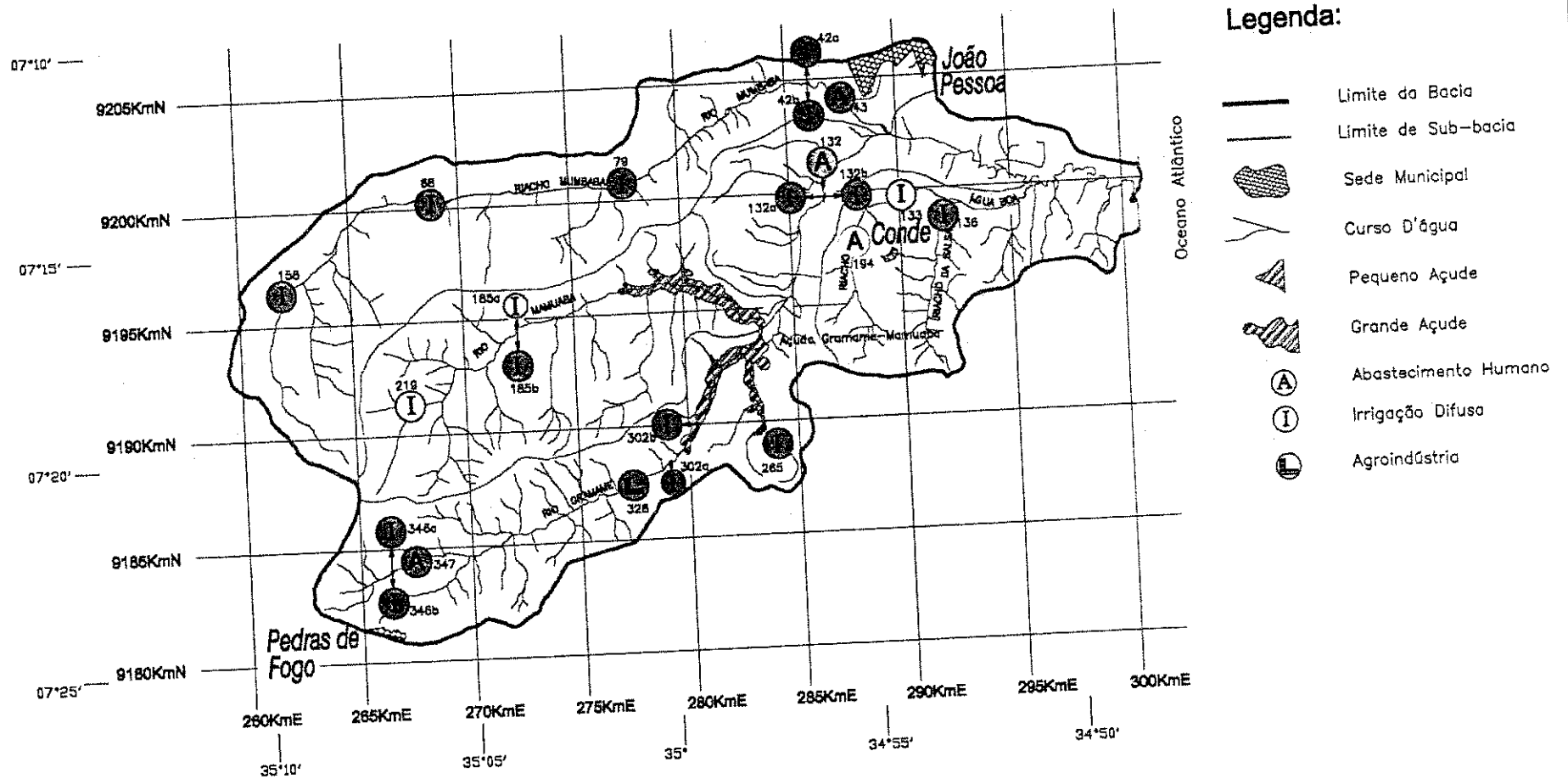
Anexo C.3 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 4

# BACIA DO RIO GRAMAME



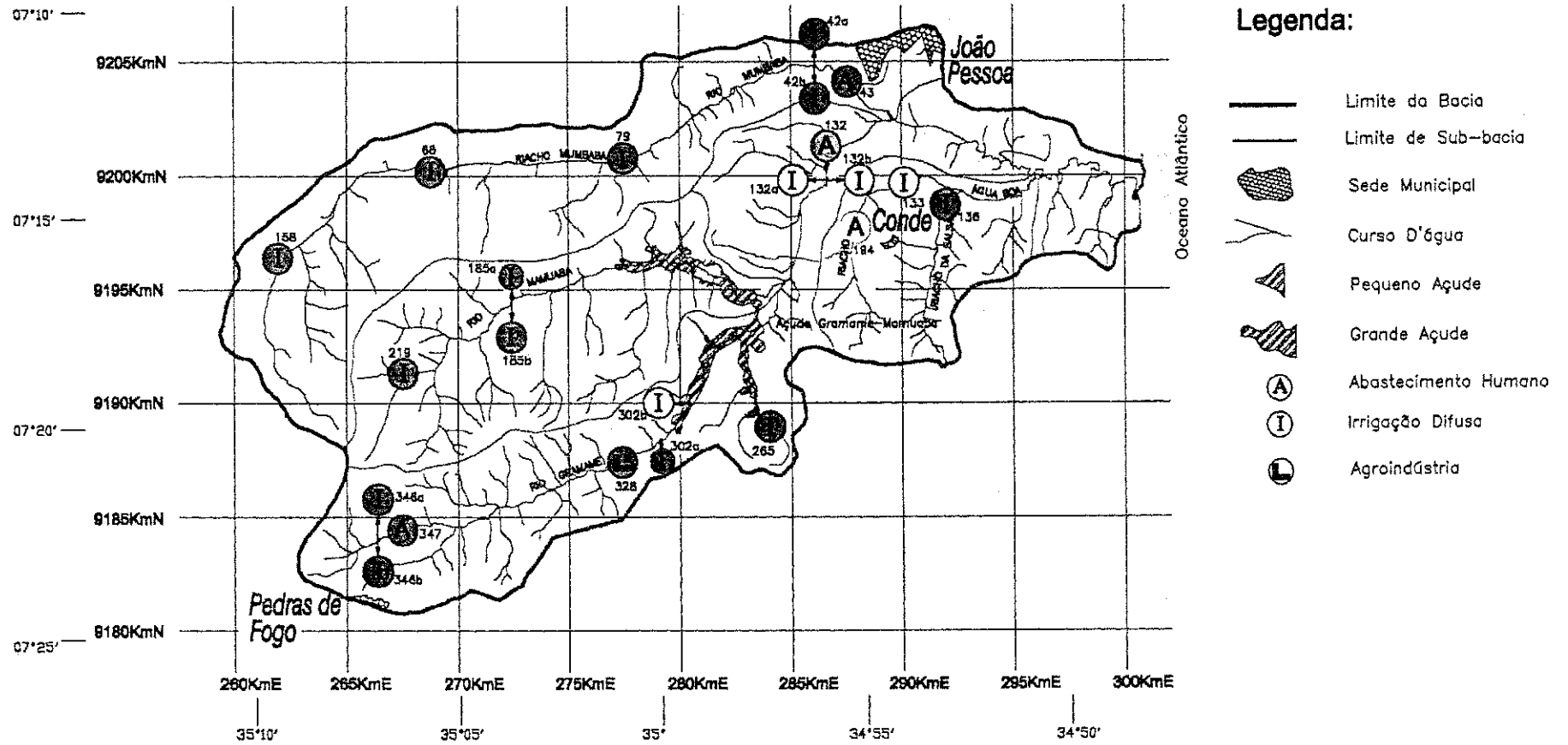
Anexo C.4 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 5A

# BACIA DO RIO GRAMAME



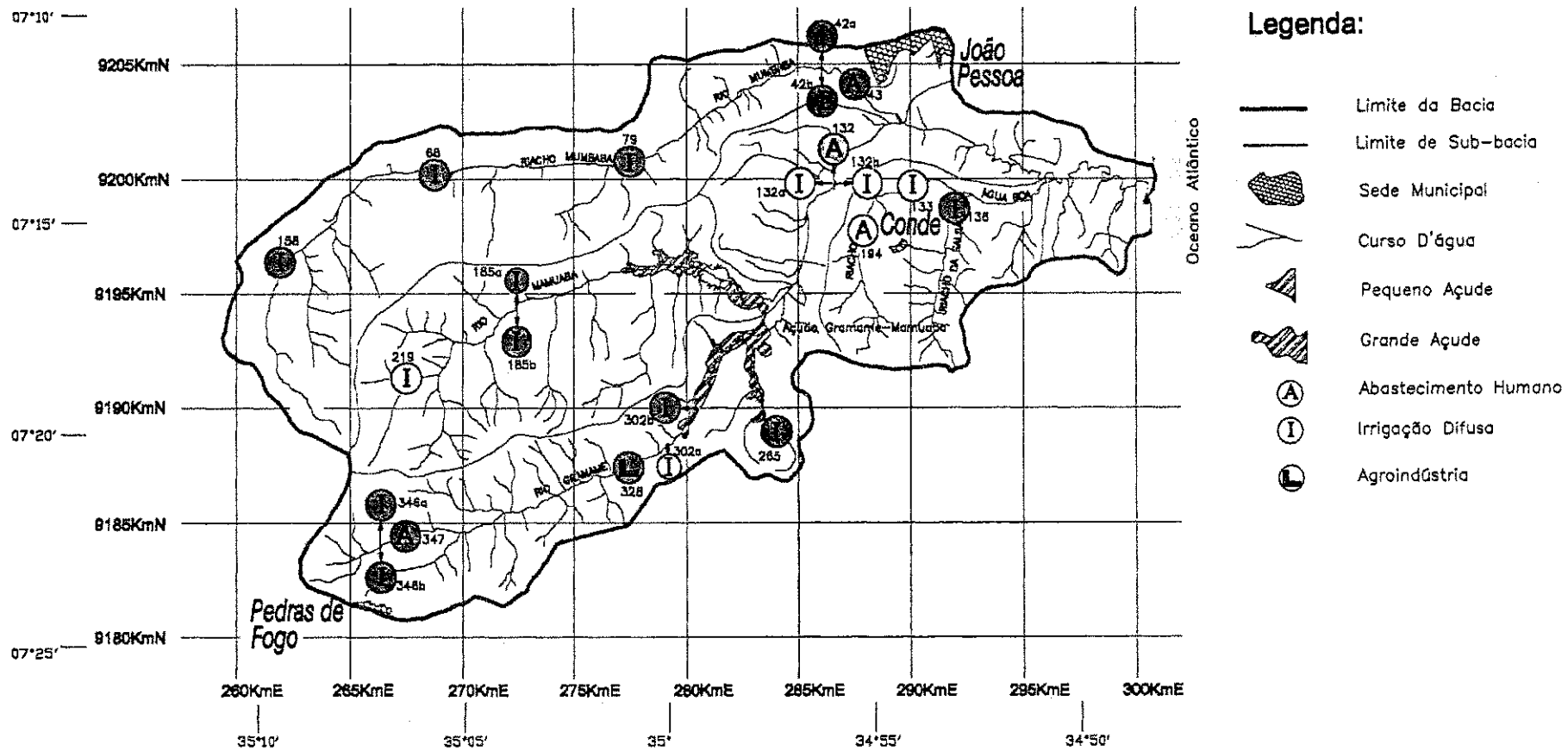
Anexo C.5 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 5B

# BACIA DO RIO GRAMAME



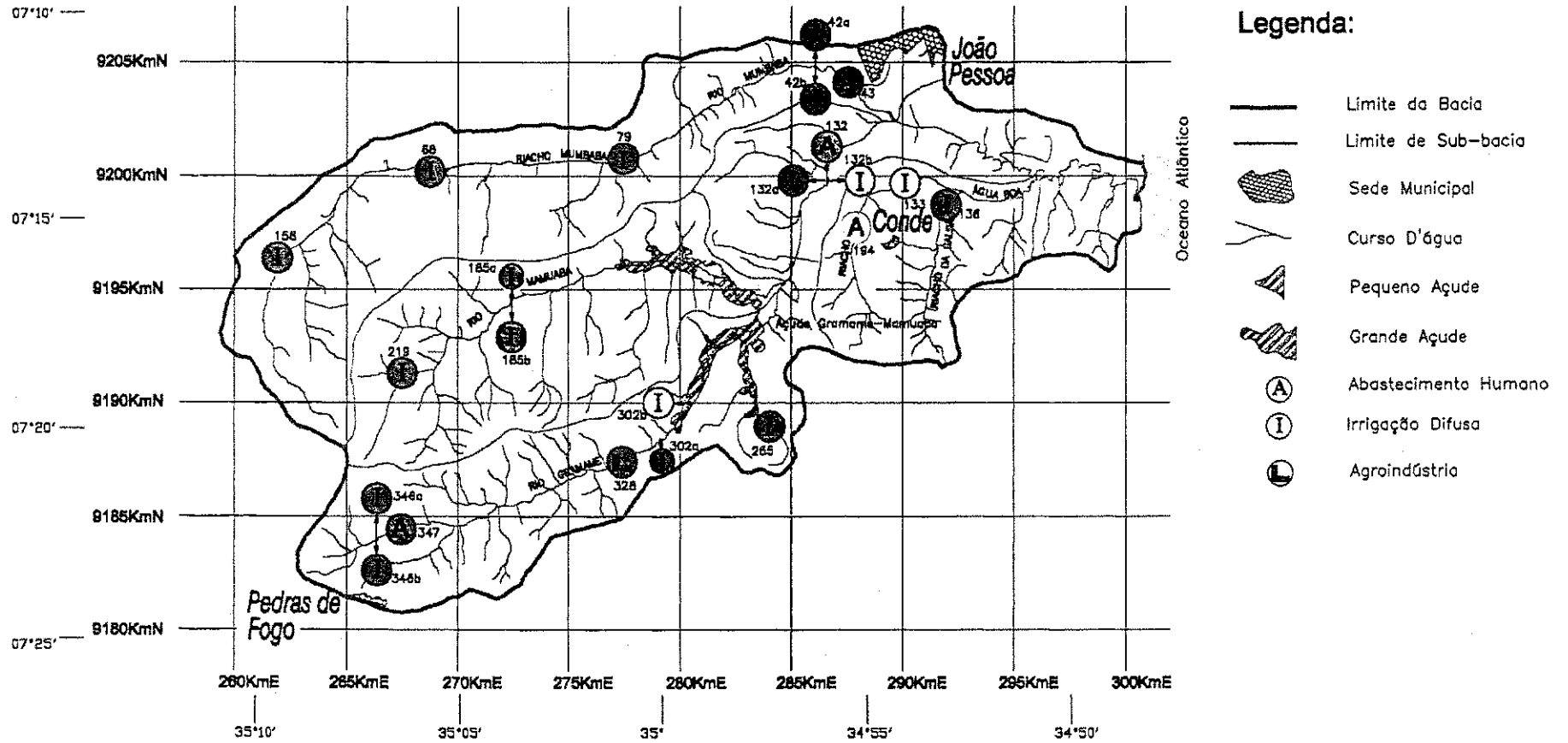
Anexo C.6 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 6A

# BACIA DO RIO GRAMAME



Anexo C.7 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 6B

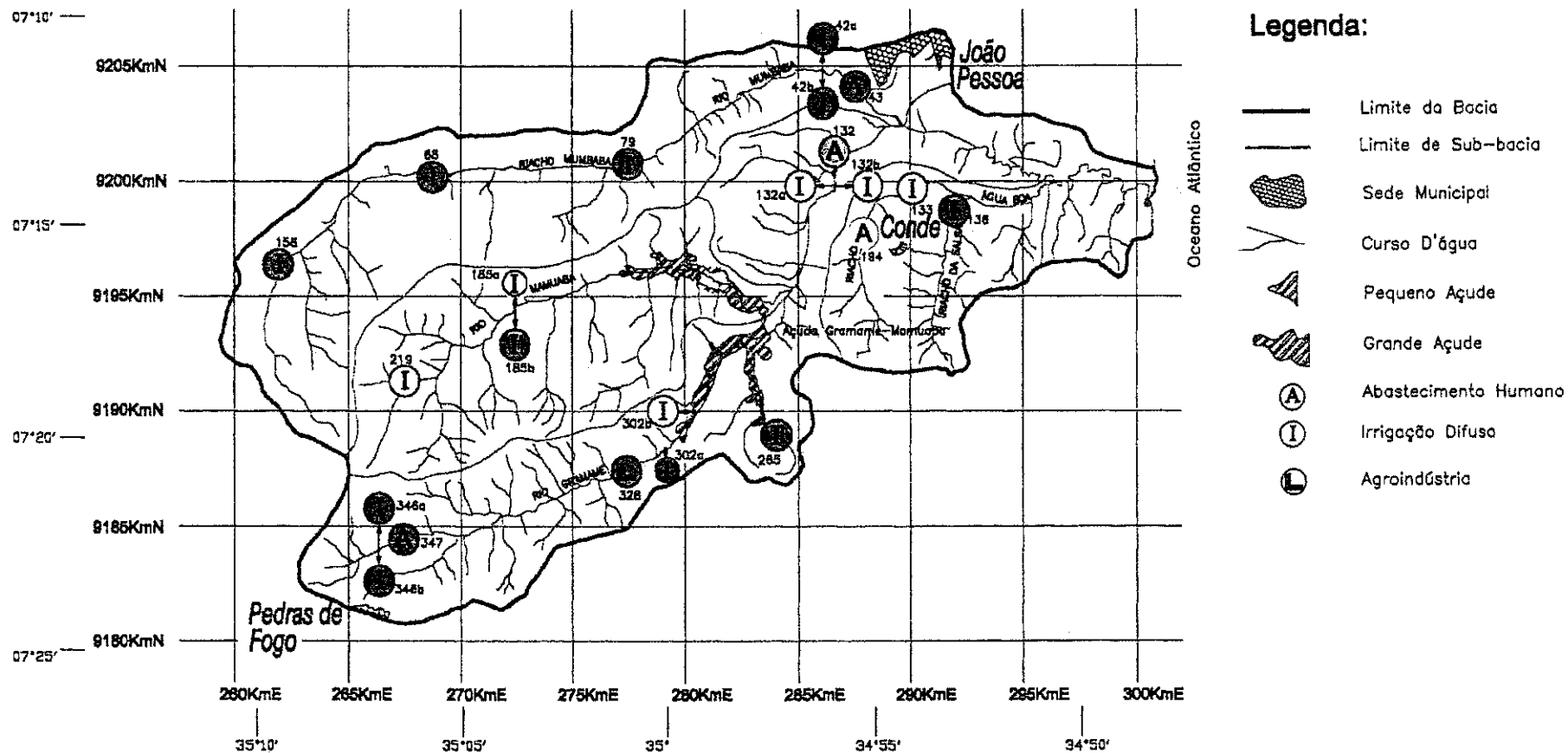
# BACIA DO RIO GRAMAME



Anexo C.8 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 7A

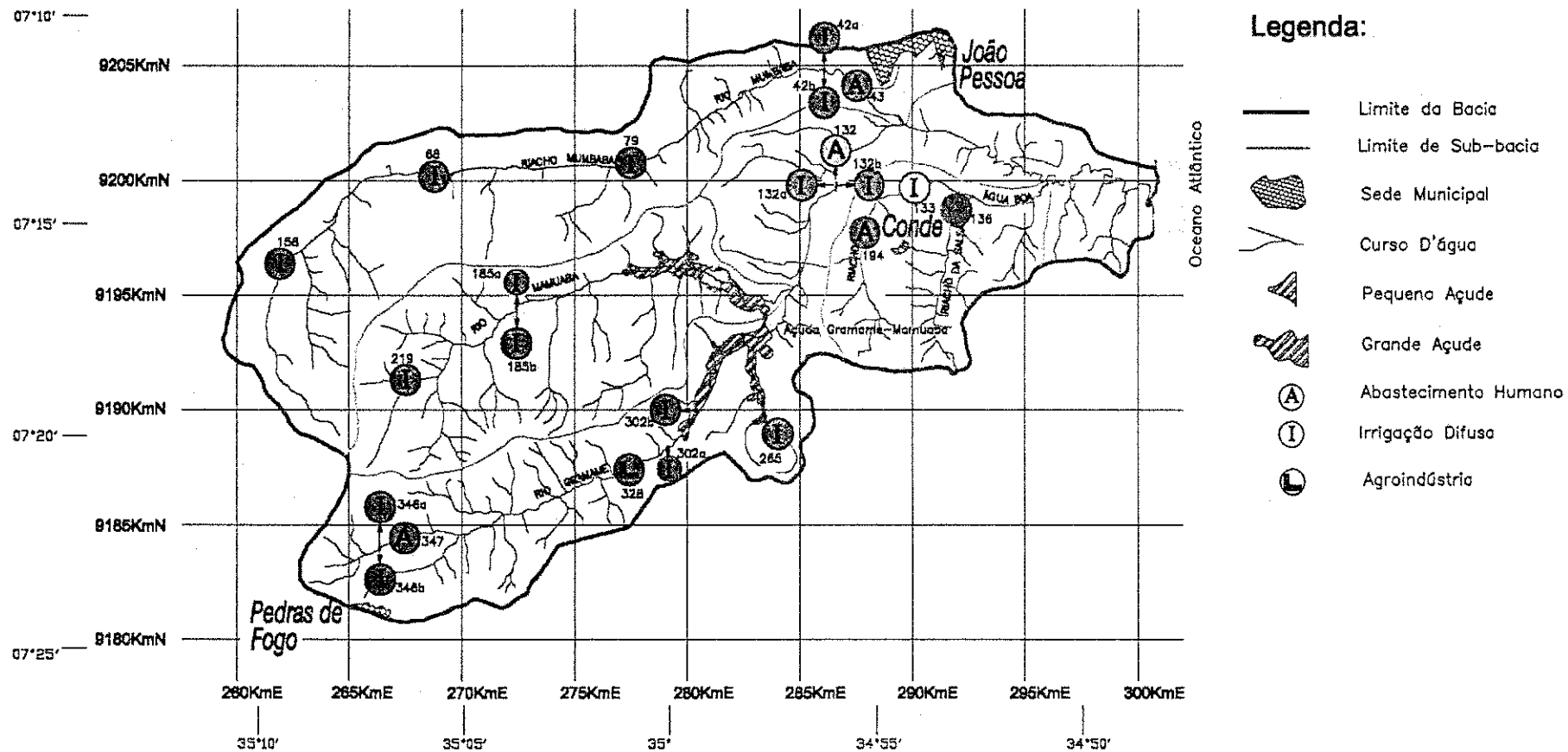


# BACIA DO RIO GRAMAME



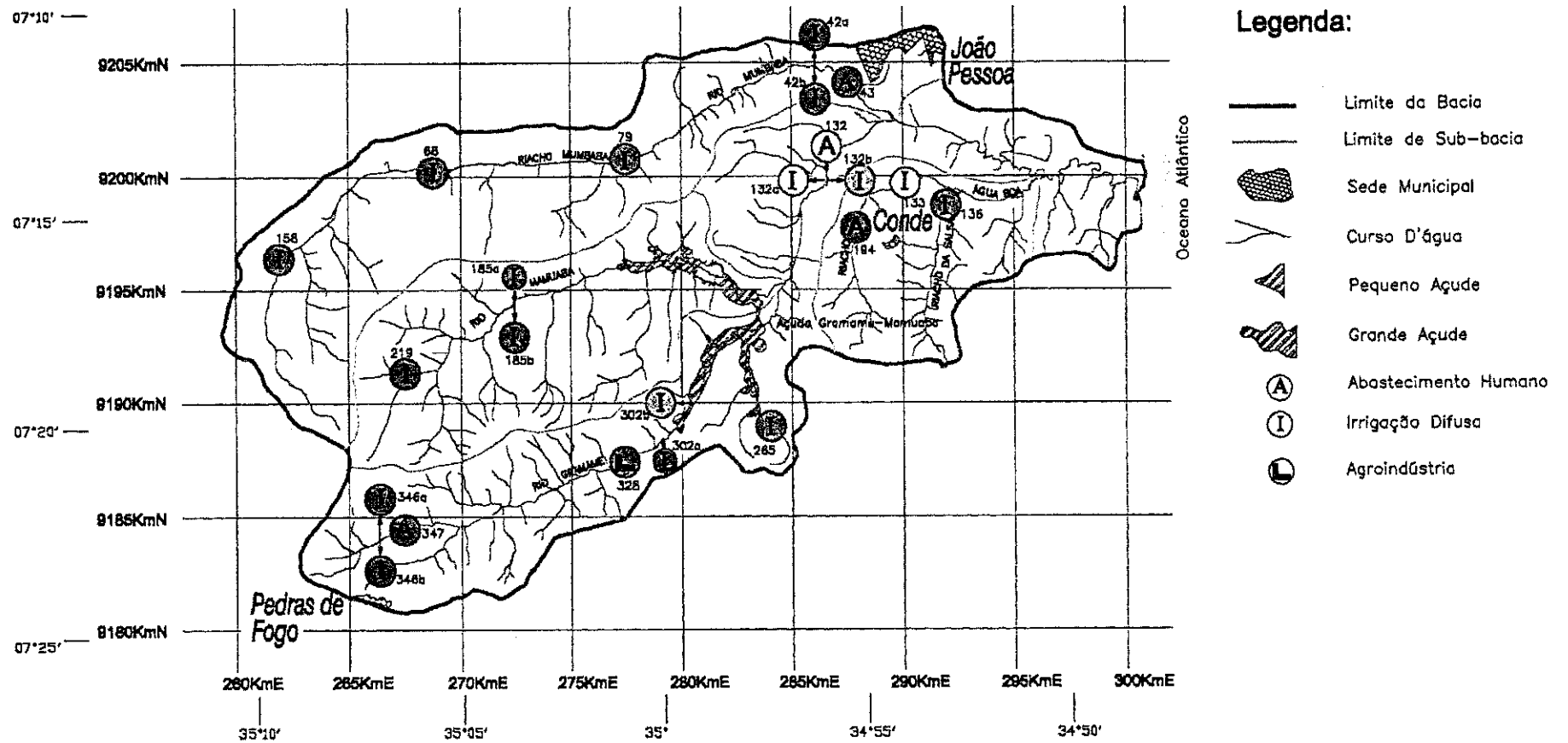
Anexo C.9 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 7B

# BACIA DO RIO GRAMAME



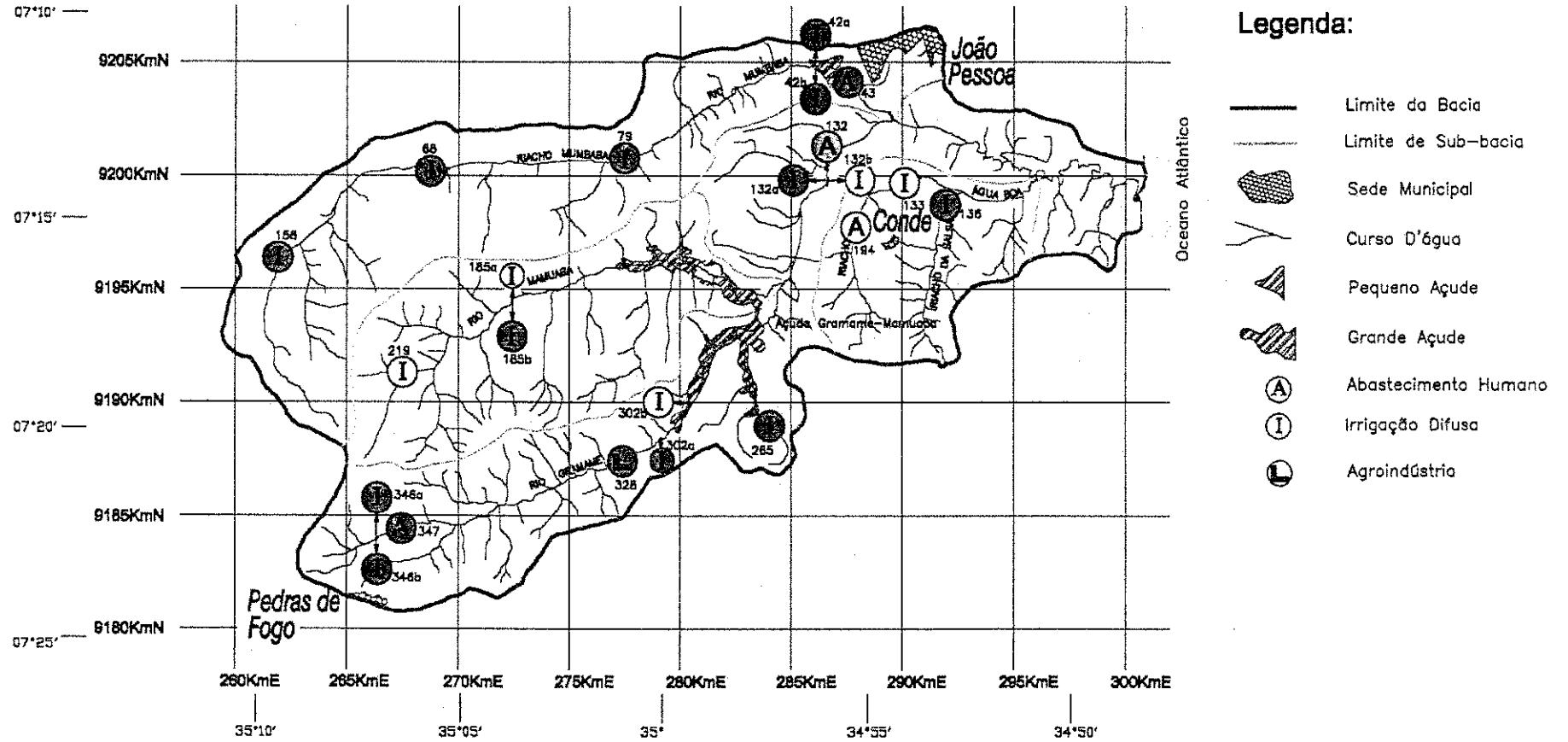
Anexo C.10 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 8A

# BACIA DO RIO GRAMAME



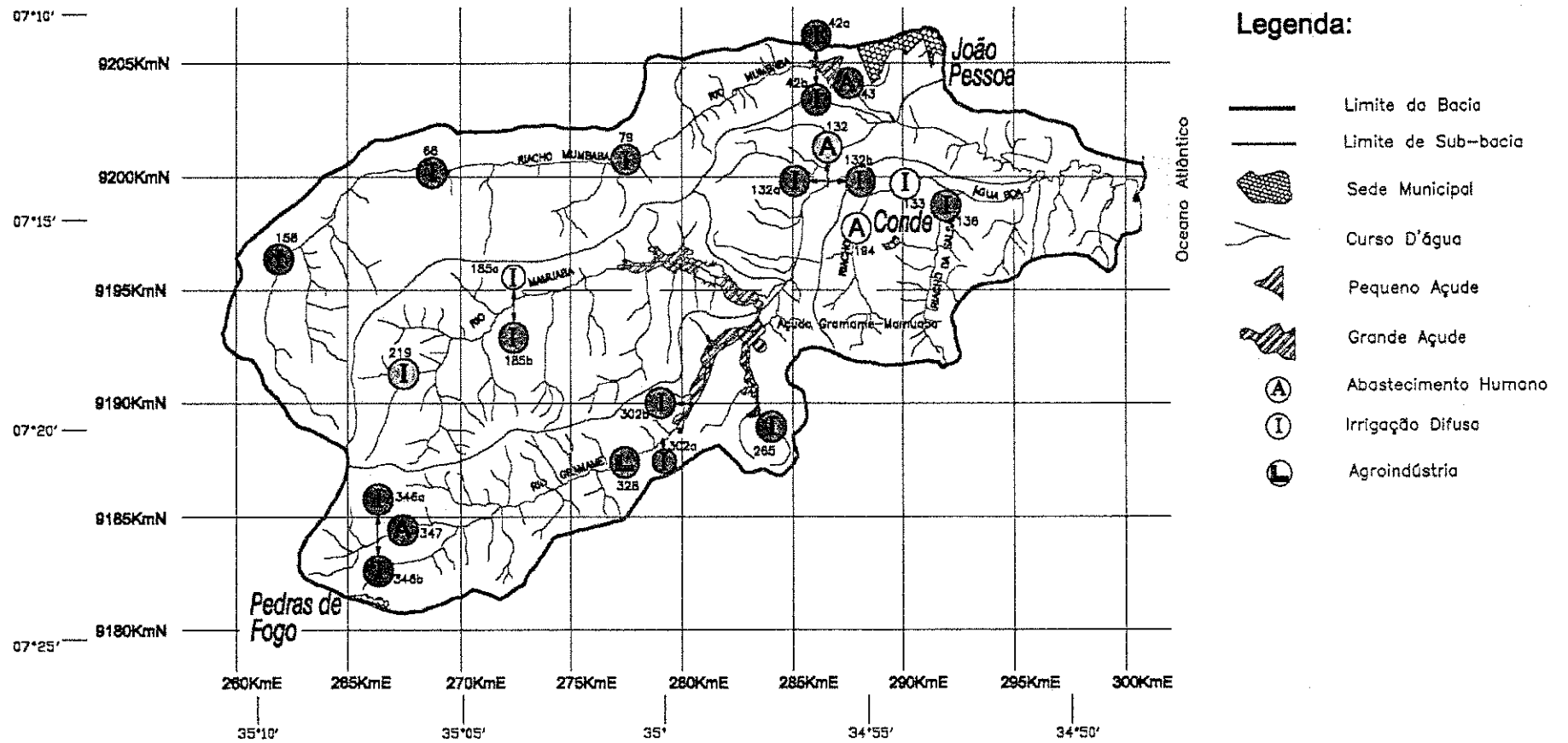
Anexo C.11 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 8B

# BACIA DO RIO GRAMAME



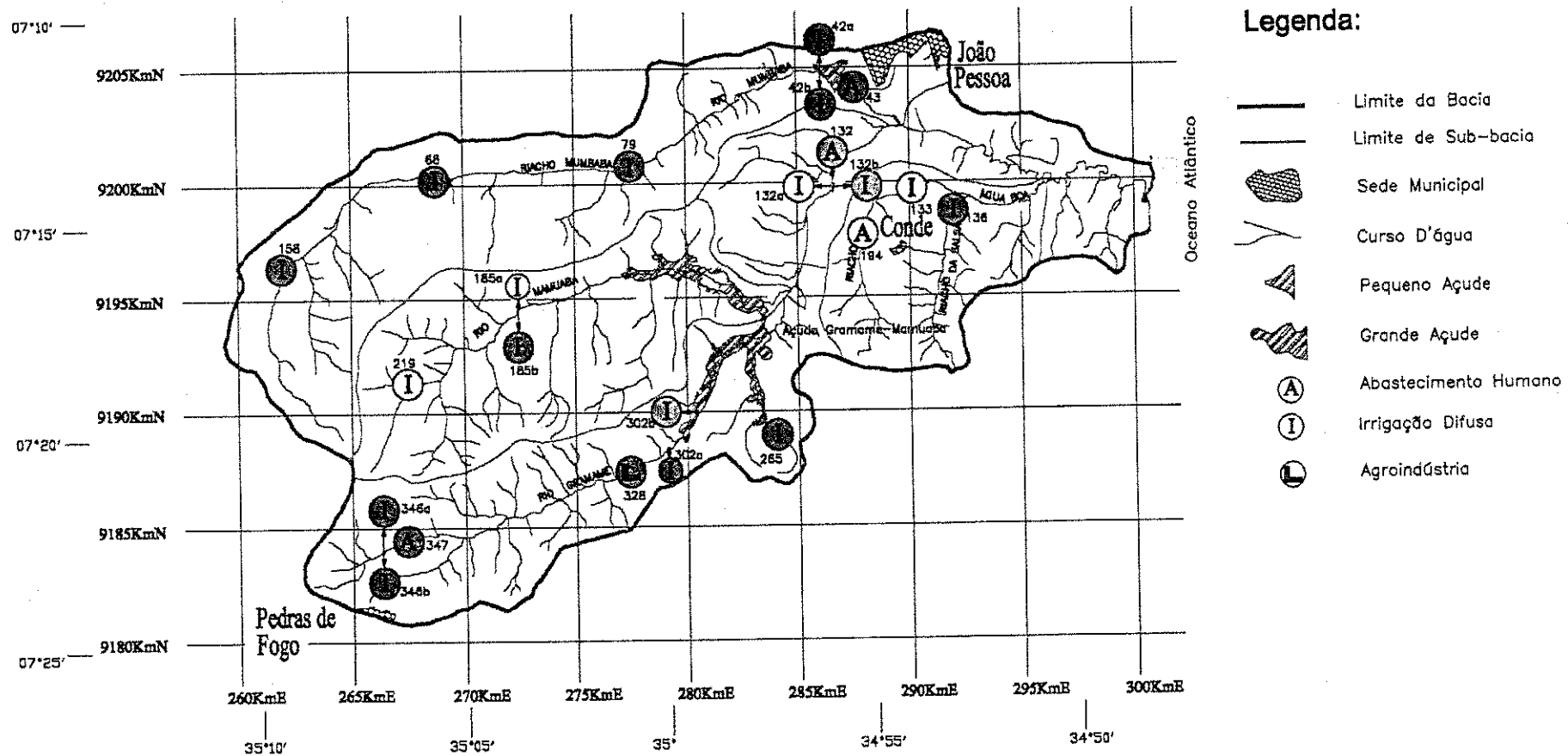
Anexo C.12 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 9A

# BACIA DO RIO GRAMAME



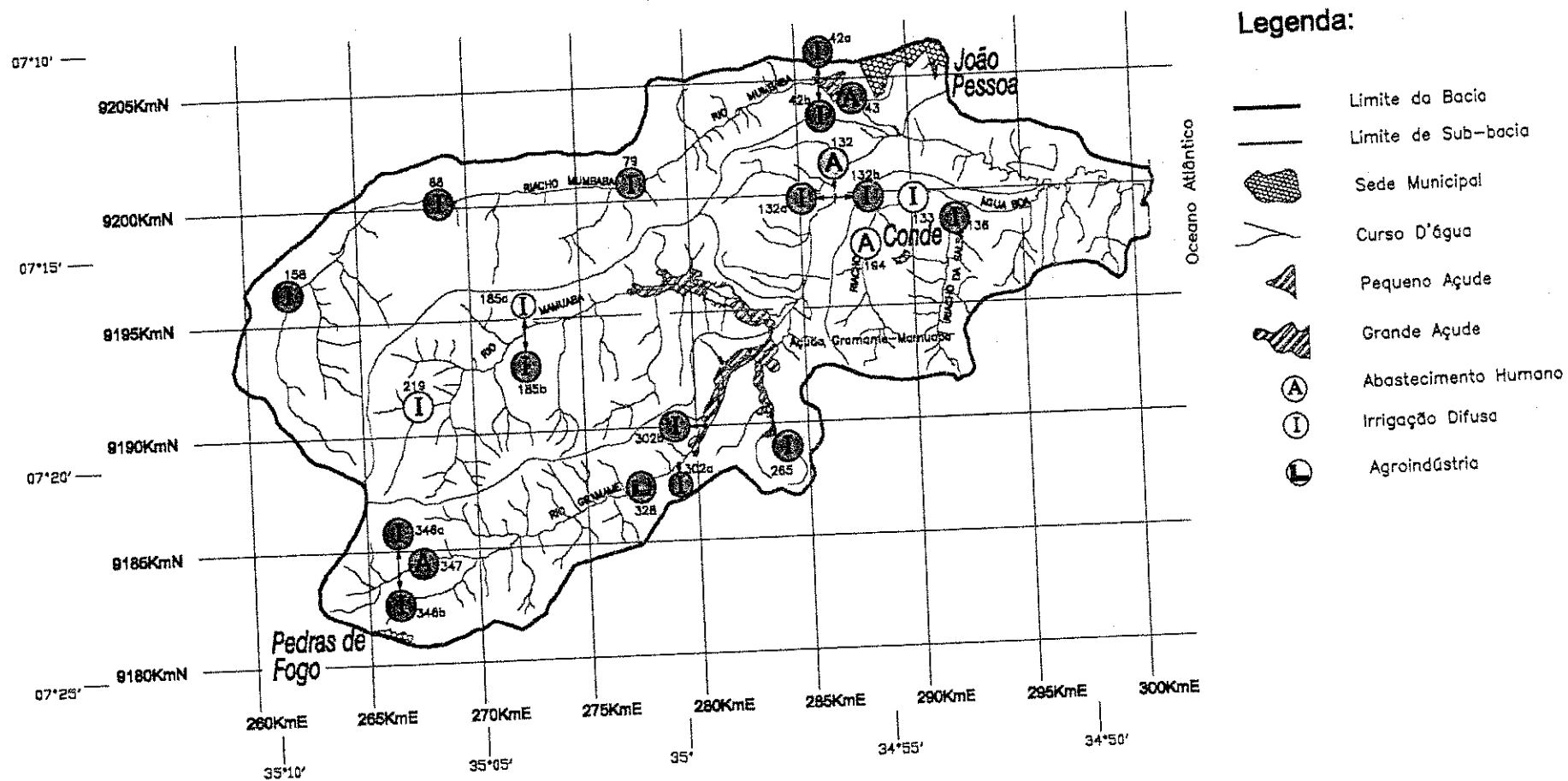
Anexo C.13 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 9B

# BACIA DO RIO GRAMAME



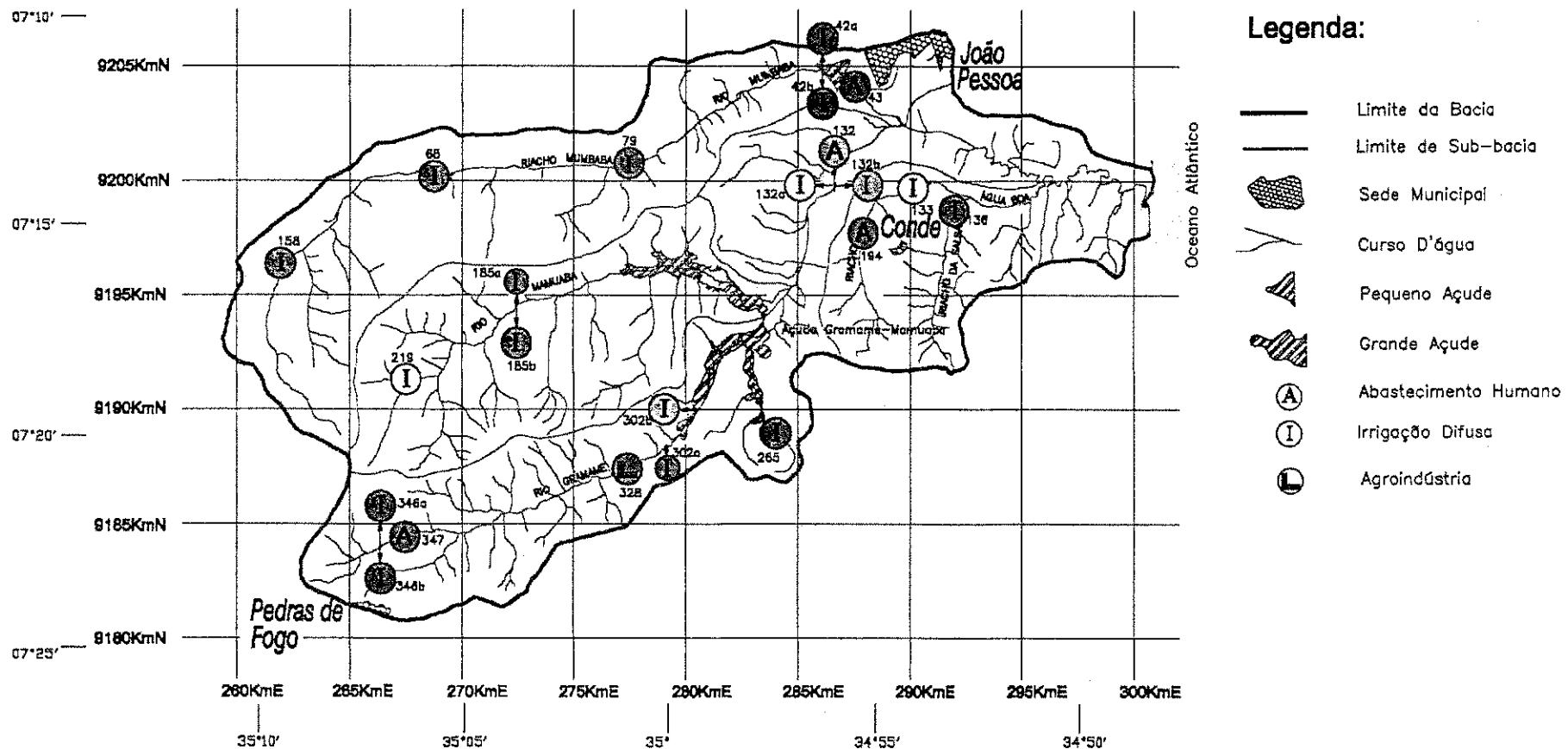
Anexo C.14 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 10A

# BACIA DO RIO GRAMAME



Anexo C.15 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 10B

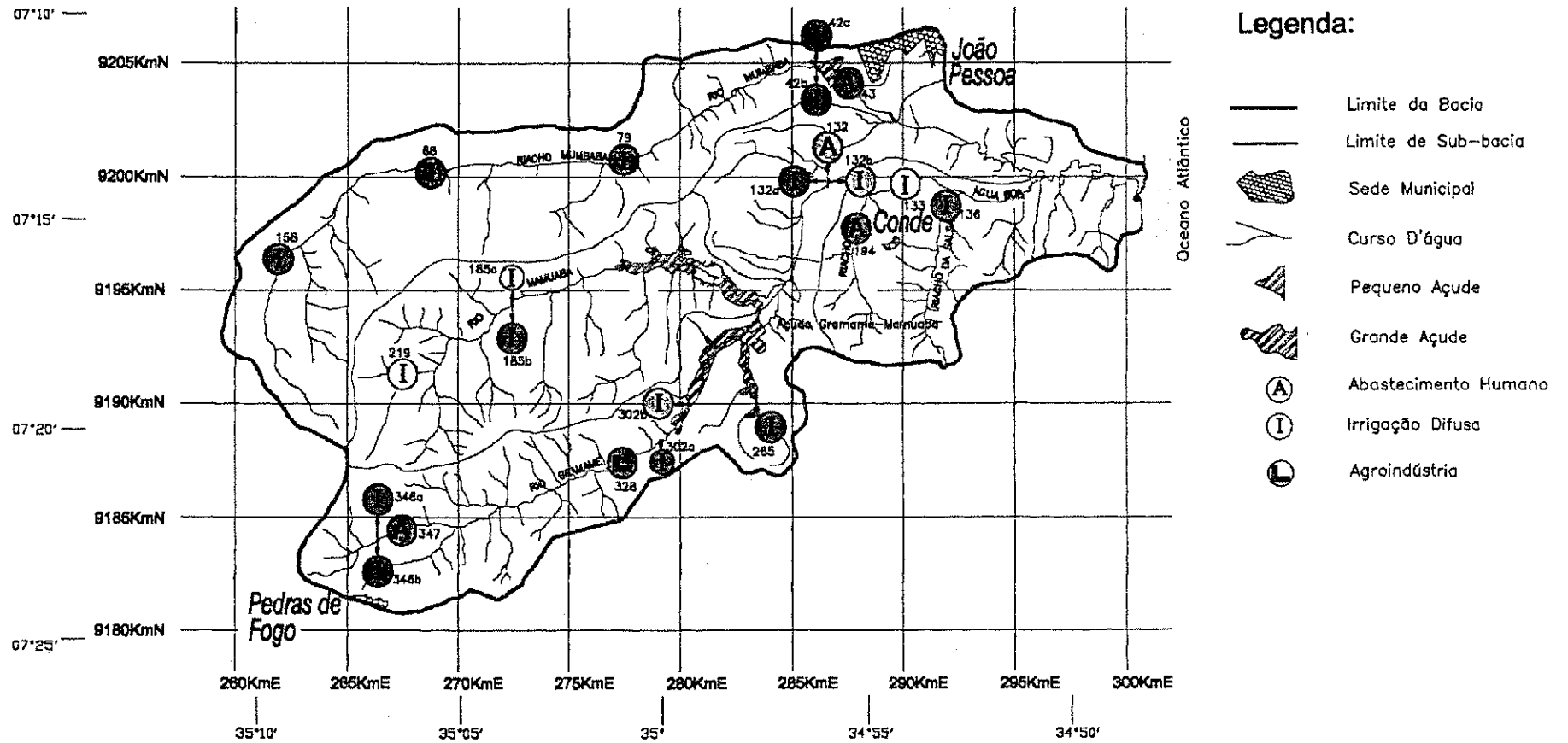
# BACIA DO RIO GRAMAME



Anexo C.16 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 11A

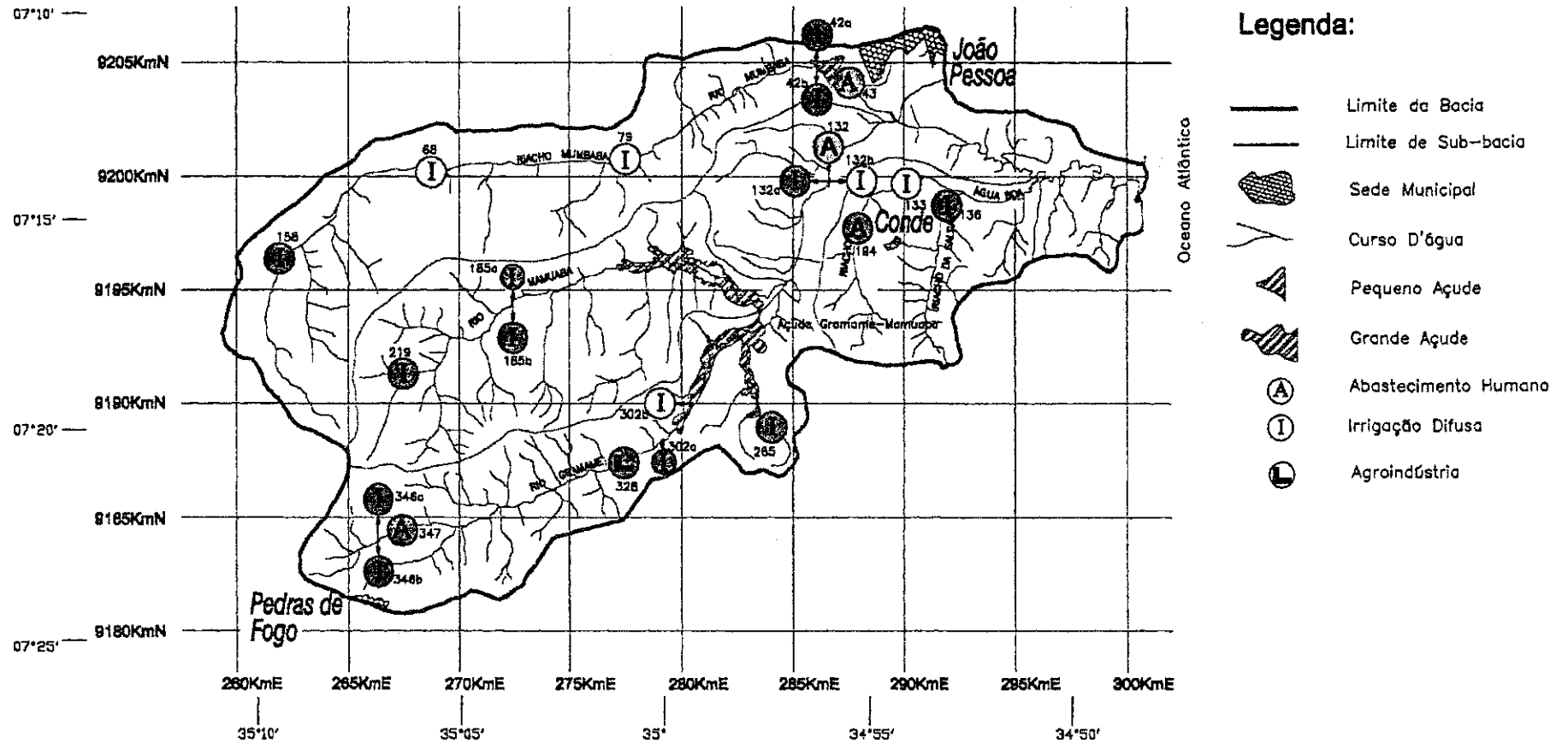


# BACIA DO RIO GRAMAME



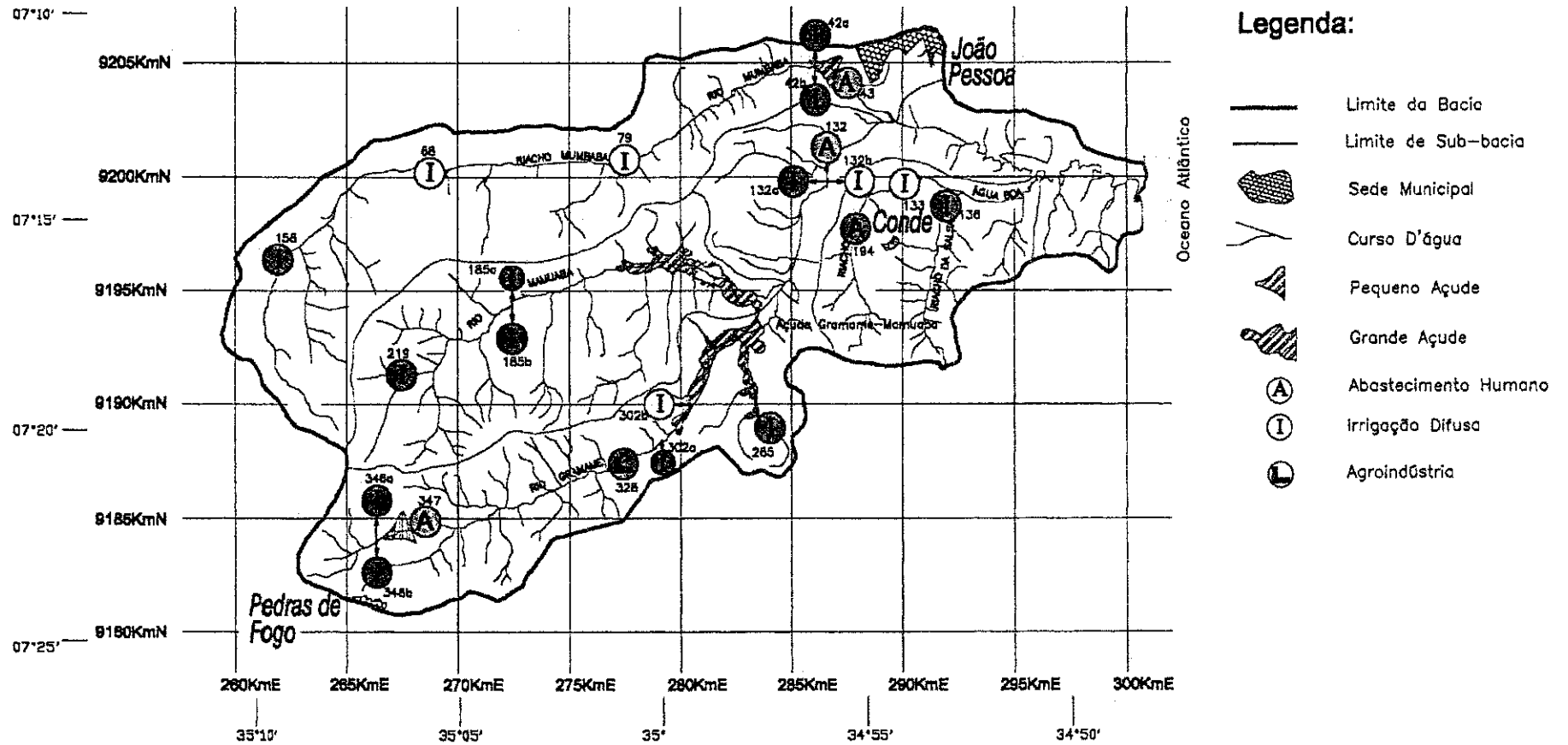
Anexo C.17 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 11B

# BACIA DO RIO GRAMAME



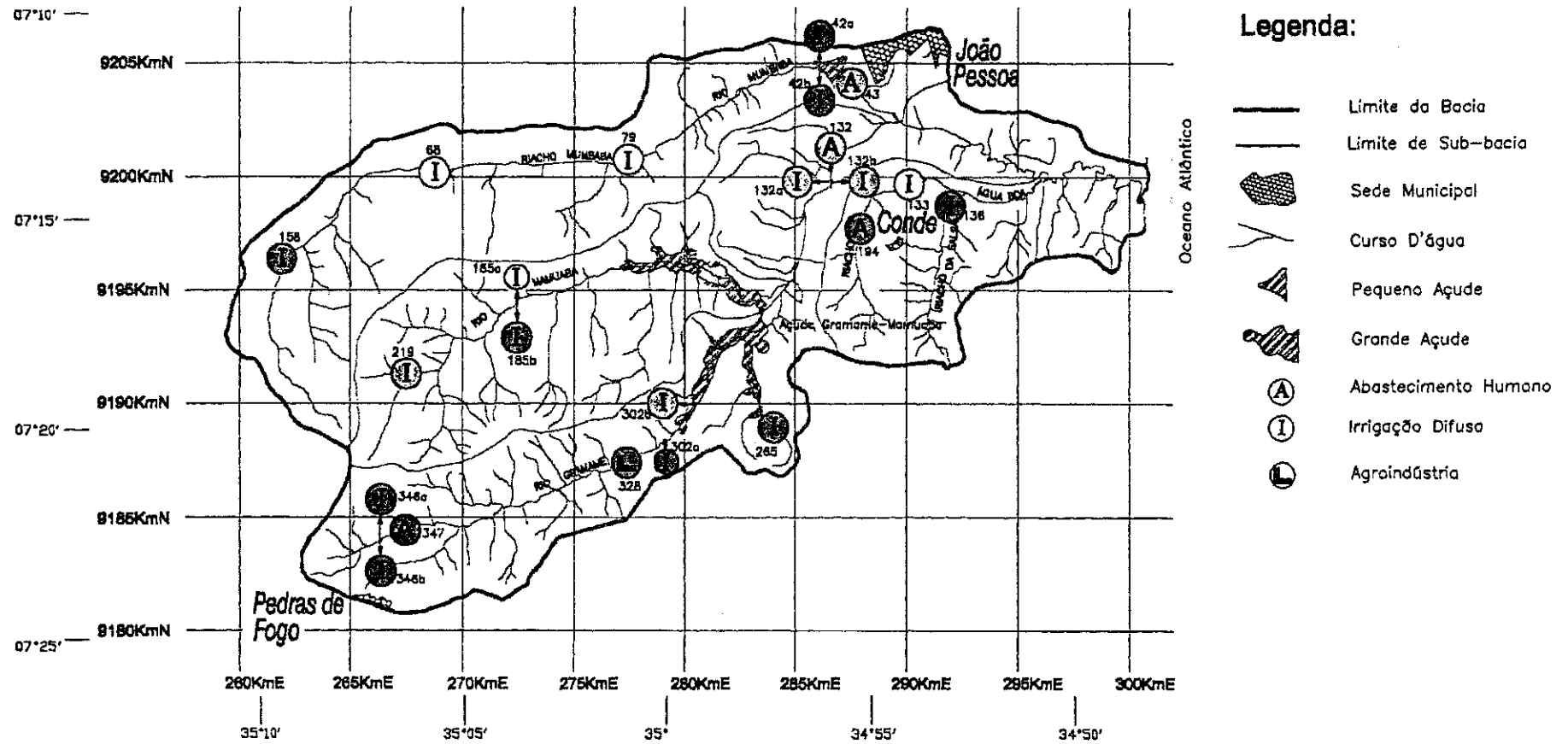
Anexo C.18 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 12A

# BACIA DO RIO GRAMAME



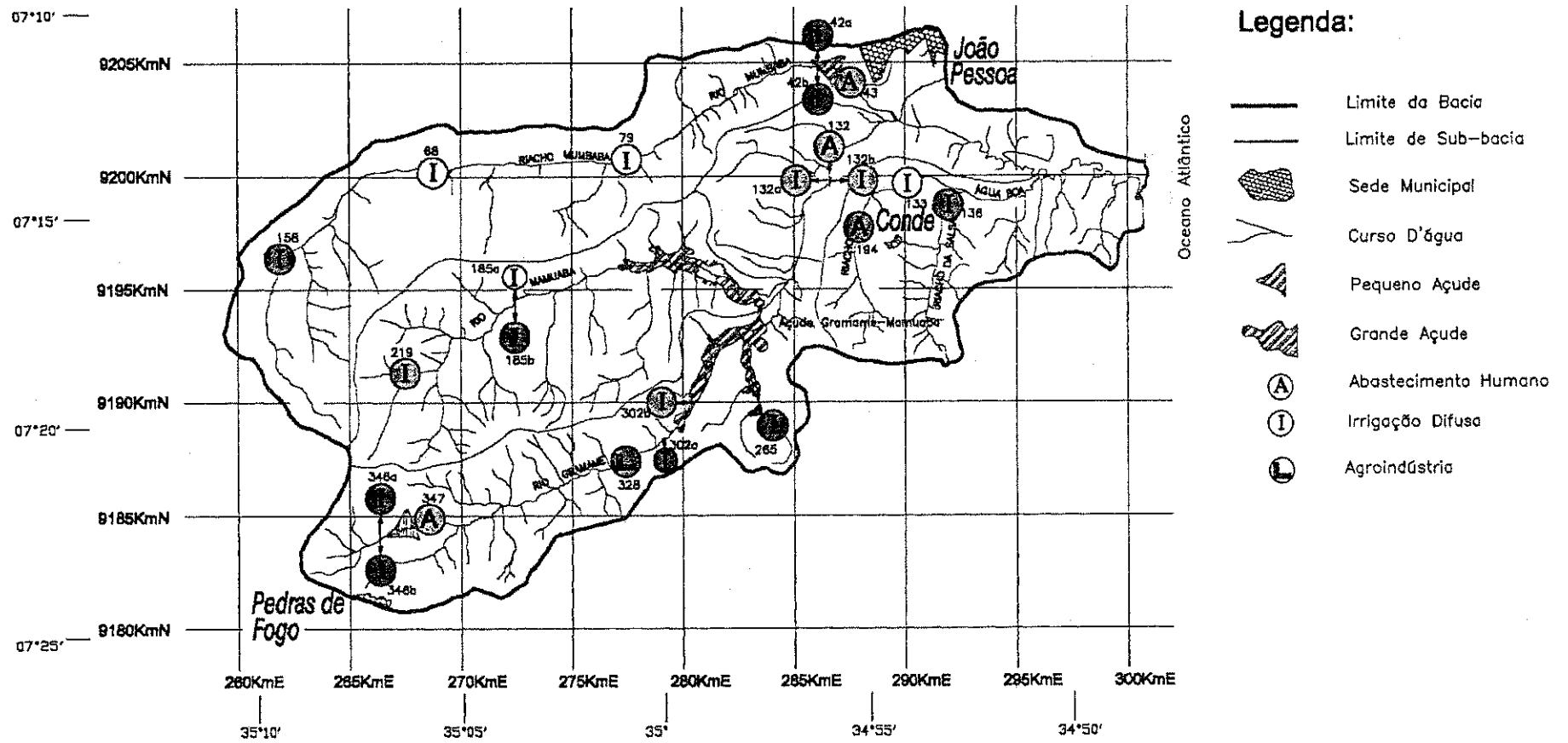
Anexo C.19 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 14

# BACIA DO RIO GRAMAME



Anexo C.20 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 15

# BACIA DO RIO GRAMAME



Anexo C.21 - Resultado Gráfico da Simulação - Cenário 16