

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

**ANÁLISE DA VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL
E DA INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA QUALIDADE DA ÁGUA
NO PROCESSO DE OUTORGA DA BACIA DO RIO GRAMAME (PB)**

ANA CAROLINA FARIAS COELHO CAMARA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Leão Lanna

Banca Examinadora:

Prof. Dr.	João Soares Viegas Filho	(UFPEL)
Prof. Dr.	Joel Avruch Goldenfum	(IPH/UFRGS)
Prof ^a . Dra.	Jussara Cabral Cruz	(UFSM)

Porto Alegre, Abril de 2003.

*Dedico esta dissertação a
meus pais, Lúcio e Rita,
e a Sidney, pelo incentivo,
paciência e amor imensuráveis.*

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Doutor Antônio Eduardo Leão Lanna da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a todas aquelas pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, transmitindo conhecimentos e orientações ou auxiliando a execução do mesmo. Em especial, agradeço:

Ao professor Antônio Eduardo Leão Lanna, por seus valiosos ensinamentos, colaboração e paciência, fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho.

À Ana Emília Duarte, Omar Barbosa e Jaido Pereira, sempre pacientes e prestativos, contribuindo com conhecimentos e sugestões essenciais a esta dissertação.

Aos professores da Universidade Federal da Paraíba Alain Marie, Tarciso Cabral e Carmem Lúcia, pelo incentivo, amizade e colaboração, mesmo à distância.

Aos professores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, por proporcionarem meu enriquecimento profissional, através dos ensinamentos ministrados durante o curso.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aos funcionários do IPH/UFRGS, pelo auxílio e colaboração, em particular, à secretária da Pós-Graduação, Nadir Solari, e à Maria.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento, pelo suporte financeiro que propiciou o desenvolvimento desta dissertação.

À amiga Michelle Seixas, pelo companheirismo e amizade dispensados durante minha estadia em Porto Alegre.

A toda minha família, pelo apoio e incentivo constantes desde o início desta jornada.

Aos meus pais, Lúcio e Rita, pelo amor, ensinamentos, confiança, paciência e, sobretudo, por tudo que fizeram para eu chegar onde estou.

A meu grande amor Sidney, por todo carinho, compreensão e apoio, que foram grandes estímulos para a realização e conclusão deste trabalho.

E a Deus, por sempre iluminar meu caminho.

RESUMO

O estado dos recursos hídricos da bacia do rio Gramame, localizada no litoral sul do Estado da Paraíba, tem se revelado insustentável, principalmente nesses últimos anos. Tanto a escassez quantitativa quanto a qualitativa inserem-se no contexto da bacia, tornando freqüentes os conflitos entre os principais usuários de água (abastecimento urbano, indústrias e irrigantes). Em virtude disso, surge a necessidade de implementação de um sistema de outorga na bacia, para uma alocação eficiente das disponibilidades hídricas.

Neste trabalho, foram abordados os principais problemas para essa implementação: (i) a definição da vazão máxima outorgável; e (ii) a introdução dos aspectos qualitativos da água. Para o primeiro problema, foram estabelecidos e avaliados como passíveis de emprego na bacia os seguintes critérios de outorga: (a) vazão excedente; (b) garantia de suprimento; (c) vazão de referência com probabilidade de superação de 90% (Q_{90}); (d) 2 vazões de referência Q_{90} para as estações seca e chuvosa; e (e) 12 vazões de referência Q_{90} referentes a cada mês do ano. No tocante à qualidade da água no processo de outorga, foi verificada a sensibilidade do sistema hídrico e suas demandas à consideração dos poluentes lançados nos cursos d'água da bacia como demanda para diluição da concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Além disso, foi abordado, de forma simplificada, o processo de autodepuração da DBO, através de coeficientes de depuração, visando avaliar a relevância das vazões liberadas para novos usos nas seções à jusante dos despejos de efluentes.

Através da comparação dos parâmetros de desempenho (garantia volumétrica, garantia temporal, garantia crítica temporal, garantia volumétrica mensal mínima, resiliência e vulnerabilidade) obtidos da simulação de cada cenário da bacia, de ocorrência em curto prazo, foram avaliados os critérios de outorga e a introdução da qualidade da água.

Priorizando o atendimento das demandas para abastecimento urbano, em ordem crescente de redução do suprimento das demandas existentes na bacia, os critérios de determinação da vazão máxima outorgável puderam ser ordenados como: vazão excedente, vazões de referência mensais, vazões de referência das estações seca e chuvosa, vazão de referência única e garantia de suprimento. Quanto à consideração das demandas para diluição de despejos, verificou-se que, de modo geral, estas pouco reduziram o suprimento das demandas já instaladas na bacia e também não foram significativas as vazões liberadas pela autodepuração a ponto de melhorar o atendimento das seções por ela afetadas. Entretanto, excetuando a demanda para diluição dos efluentes domésticos do município do Conde, foi verificada a inviabilidade de suprimento dos atuais lançamentos de efluentes na bacia, cujo percentual de atendimento não atingiu 50% do volume requerido.

ABSTRACT

The water resources situation in the Gramame River Basin (Paraíba State) has become unsustainable in recent years. The quantitative and qualitative shortage of water has caused frequent conflicts among the main users (urban supply, industry and irrigation). Therefore, there is a clear need of a water rights concession system for the efficient allocation of available water resources.

This study deals with the main problems to implement such a system: (i) the maximum flow for water rights concession; and (ii) water quality issue, in water rights concession. Regarding the first problem, the following water rights criteria were established and appraised to use in the basin: (a) surplus flow; (b) reliable supply; (c) reference flow with 90% probability (Q_{90}); (d) 2 reference flows Q_{90} for the dry and rainy seasons; and (e) 12 reference flows Q_{90} for each month. The water quality issue in the water rights concession process was introduced by estimating the flow needed to dilute BOD (Biochemical Demand of Oxygen) to the maximum concentration level, stated by the water classification in each river reach. Furthermore, the BOD depuration process was approached in a simplified manner, through depuration coefficients, seeking to evaluate the relevance of the flows released for new uses.

Using the comparison of performance parameters (volumetric reliability, temporal reliability, critical temporal reliability, minimum monthly volumetric reliability, resilience and vulnerability), obtained from the simulation of each short term scenario for the basin, the water rights concession criteria, considering quantity or quality, were evaluated.

Considering the impact of supplying of the existing urban water demands in the basin, the criteria for water rights concession could be ranked, from the best to the worst alternative, as: a) surplus flow, b) 12 reference flows Q_{90} for each month, c) 2 reference flows Q_{90} for the dry and rainy seasons, d) reference flow with 90% probability (Q_{90}) and e) reliable supply.

It was observed that the water rights concession to dilute BOD, in general, did not decrease significantly the water supply for existing demands in the basin; flows released by depuration of BOD were also not significant to improve the supply of river reaches affected by this process. However, except for the demand to dilute domestic effluents in the Conde District, the study showed to be impossible to dilute the current effluent discharges in the basin, whose percentage of success did not attain 50% of the time.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE ANEXOS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE VARIÁVEIS	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 O ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	5
2.2 USO MÚLTIPLO DA ÁGUA	6
2.3 NECESSIDADE DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	6
2.4 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	8
2.4.1 Instrumentos para a Gestão dos Recursos Hídricos	8
a) Instrumentos Regulatórios	8
b) Instrumentos Econômicos	9
2.4.2 Aspectos Considerados na Gestão dos Recursos Hídricos	9
a) Aspectos Quantitativos	9
b) Aspectos Qualitativos	10
2.5 OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA	10
2.5.1 Tipos de Outorga	10
2.5.2 Aspectos Conceituais da Outorga	11
2.6 ARCABOUÇO LEGAL DA OUTORGA NO BRASIL E NO ESTADO DA PARAÍBA	13
2.6.1 Leis e Decretos Federais	13
a) Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934 – o Código das Águas	13
b) Constituição Federal, de 5 de outubro de 1988	13
c) Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997	14
d) Projeto de Lei nº 1.616 / 99	15
2.6.2 Leis e Decretos do Estado da Paraíba	16
a) Lei Estadual nº 6.308, de 2 de julho de 1996	16
b) Lei Estadual nº 6.544, de 20 de outubro de 1997	16
c) Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997	17
d) Lei Estadual nº 7.033, de 29 de novembro de 2001	17
2.7 CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL	18
2.7.1 Critérios Estáticos	18
2.7.2 Critérios Dinâmicos	19
a) Critério da Vazão Excedente	20
b) Critério da Garantia de Suprimento	20
c) Critério da Outorga pela Expressão Econômica da Demanda	21
2.8 OUTORGA QUANTITATIVA	21
2.9 QUALIDADE DA ÁGUA: CONCEITOS BÁSICOS E INTRODUÇÃO NO PROCESSO DE OUTORGA	21
2.9.1 Conceitos Básicos	22
a) Fontes de Poluição	22
b) Parâmetros de Qualidade da Água	23
c) Demanda Bioquímica de Oxigênio	24
2.9.2 Enquadramento dos Corpos d'Água	28
2.9.3 Qualidade da Água no Processo de Outorga: Vazão de Diluição	29
2.9.4 Outorga Quantitativa e Qualitativa	31
2.10 SIMULAÇÃO DA OUTORGA QUANTITATIVA E QUALI-QUANTITATIVA	32
2.10.1 Abordagem Sistemática dos Recursos Hídricos	32
2.10.2 Técnicas para Avaliação de Sistemas de Recursos Hídricos	33
a) Simulação	33
b) Otimização	36
2.11 O MODELO PROPAGAR MOO	36
2.11.1 Concepção Básica	36

2.11.2 Dinâmica do Modelo	38
2.11.3 Decisões Gerenciais e Operacionais	40
2.11.4 Análise dos Resultados do PROPAGAR MOO	41
2.12 ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS HÍDRICOS	41
2.12.1 Confiabilidade	42
2.12.2 Resiliência	42
2.12.3 Vulnerabilidade	44
2.13 CONCLUSÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	45
3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO GRAMAME	46
3.1 A BACIA DO RIO GRAMAME	46
3.2 ASPECTOS FÍSICOS E CLIMATOLÓGICOS	47
3.2.1 Geologia	48
3.2.2 Geomorfologia	48
3.2.3 Pedologia	49
3.2.4 Cobertura Vegetal	49
3.2.5 Topografia	50
3.2.6 Climatologia	50
3.3 USO DO SOLO	51
3.3.1 Irrigação	51
3.3.2 Mineração	52
3.3.3 Abastecimento Urbano	52
3.3.4 Assimilação de Esgotos Domésticos e Industriais	53
3.4 INFRA-ESTRUTURA HIDRÁULICA	54
3.4.1 Situação Atual	54
3.4.2 Necessidades Futuras	55
3.5 PROBLEMÁTICA DA REGIÃO	56
3.6 INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS	57
3.6.1 Dados Climatológicos	57
3.6.2 Dados Pluviométricos	58
3.6.3 Dados Fluviométricos	59
3.6.4 Demandas Hídricas	60
a) Demanda para Abastecimento Urbano	61
b) Demanda para Indústrias	62
c) Demanda para Irrigação	62
3.6.5 Qualidade da Água	63
a) Principais Pontos de Lançamento de Despejos	63
b) Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais	64
c) Depuração dos Cursos d'Água	66
d) Enquadramento dos Corpos d'Água	67
3.6.6 Priorização das Demandas	68
3.6.7 Discretização da Bacia	69
3.6.8 Outorgas Concedidas	70
4. METODOLOGIA E APLICAÇÃO	71
4.1 INTRODUÇÃO	71
4.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA	71
4.2.1 Identificação dos Dados, Usuários e Demandas Hídricas	72
4.2.2 Discretização da Bacia e Definição dos Pontos de Controle	72
4.2.3 Projeção dos Usos e Demandas	73
4.2.4 Priorização dos Usos	75
4.2.5 Identificação das Possibilidades de Critérios de Determinação da Vazão Máxima Outorgável	75
a) Critério da Vazão de Referência com 1 Valor de Q_{90}	76
b) Critério da Vazão de Referência com 2 Valores de Q_{90}	77
c) Critério da Vazão de Referência com 12 Valores de Q_{90}	78
d) Critério da Vazão Excedente	79
e) Critério da Garantia de Suprimento	80
4.2.6 Definição dos Cenários	80
4.2.7 Simulação Hidrológica dos Diversos Cenários e Critérios	82
a) Simulação da Outorga Quantitativa	84
b) Rotina de Operação dos Reservatórios	86
c) Priorização dos Usos	88
4.2.8 Análise e Comparação dos Resultados	88
a) Confiabilidade	89
b) Resiliência	91

c) Vulnerabilidade	92
d) Garantia Mínima Mensal	92
4.3 INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE OUTORGA	93
4.3.1 Identificação dos Dados, Usuários e Demandas Hídricas	93
4.3.2 Discretização da Bacia e Definição dos Pontos de Controle	94
4.3.3 Projeção dos Usos e Demandas	94
a) Vazão de Diluição para os Efluentes Domésticos e Industriais	95
b) Vazão de Diluição Requerida pelo Curso d'Água	96
c) Vazão de Diluição Não Conservativa	98
4.3.4 Priorização dos Usos	101
4.3.5 Definição dos Cenários	102
4.3.6 Simulação Hidrológica dos Diversos Cenários	104
a) Introdução da Vazão de Diluição	104
b) Simulação da Outorga Quali-Quantitativa	105
c) Simulação da Autodepuração do Curso d'Água	106
c) Mudança de Enquadramento ao Longo do Curso d'Água	108
4.3.5 Análise e Comparação dos Resultados	108
5. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	109
5.1 INTRODUÇÃO	109
5.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA	109
5.2.1 Resultados	109
5.2.2 Análise e Comparação dos Resultados	112
a) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual (Configuração 1)	112
b) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 2)	123
c) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 2)	123
d) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba, operando com Demanda para GJP de 1.000 l/s + Nível de Racionamento de 50% (Configuração 4)	131
5.3 INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE OUTORGA	138
5.3.1 Resultados	138
5.3.2 Análise e Comparação dos Resultados	139
a) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual (Configuração 1)	140
b) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 2)	145
c) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 2)	148
d) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba, operando com Demanda para GJP de 1.000 l/s + Nível de Racionamento de 50% (Configuração 4)	155
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	161
6.1 INTRODUÇÃO	161
6.2 CONCLUSÕES	161
6.2.1 Critérios de Determinação da Vazão Máxima Outorgável	162
6.2.2 Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga	164
6.3 RECOMENDAÇÕES	167
6.3.1 Critérios de Determinação da Vazão Máxima Outorgável	167
6.3.2 Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga	168
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DO RIO GRAMAME	A.1-1
A.1.1 Açude Gramame-Mamuaba	A.1-2
A.1.2 Açude Pitanga	A.1-3
A.1.3 Açude Mumbaba	A.1-4
ANEXO 2. INDICADORES DA CALIBRAÇÃO E DA VALIDAÇÃO DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO GRAMAME	A.2-1
A.2.1 Posto Fluviométrico Mumbaba	A.2-2
A.2.2 Posto Fluviométrico Mamuaba	A.2-2
ANEXO 3. DEMANDAS PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO GRAMAME	A.3-1
A.3.1 Demandas Hídricas para Irrigação Prioritária	A.3-2
A.3.2 Demandas Hídricas para Irrigação Prioritária	A.3-2
ANEXO 4. PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA	A.4-1
A.4.1 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR_1	A.4-2
A.4.2 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR_1	A.4-2
A.4.3 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR_1	A.4-3
A.4.4 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE_1	A.4-3
A.4.5 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS_1	A.4-4
A.4.6 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR_2	A.4-5
A.4.7 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR_2	A.4-5
A.4.8 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR_2	A.4-6
A.4.9 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE_2	A.4-6
A.4.10 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS_2	A.4-7
A.4.11 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR_3	A.4-8
A.4.12 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR_3	A.4-8
A.4.13 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR_3	A.4-9
A.4.14 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE_3	A.4-9
A.4.15 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS_3	A.4-10
A.4.16 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR_4	A.4-11
A.4.17 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR_4	A.4-11
A.4.18 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR_4	A.4-12
A.4.19 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE_4	A.4-12
A.4.20 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS_4	A.4-13
ANEXO 5. PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE OUTORGA	A.5-1
A.5.1 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_01	A.5-2
A.5.2 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_02	A.5-2
A.5.3 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_03	A.5-2
A.5.4 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_04	A.5-3
A.5.5 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_05	A.5-3
A.5.6 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_06	A.5-3
A.5.7 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_07	A.5-4
A.5.8 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_08	A.5-4
A.5.9 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_09	A.5-4
A.5.10 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_10	A.5-5
A.5.11 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_11	A.5-5
A.5.12 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_12	A.5-5
A.5.13 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_13	A.5-6
A.5.14 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_14	A.5-6
A.5.15 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_15	A.5-6
A.5.16 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_16	A.5-7
A.5.17 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_17	A.5-7
A.5.18 Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_18	A.5-7

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Valores típicos de K_1 (base e, 20° C)	27
TABELA 2.2	Vantagens e desvantagens das alternativas de formulação do modelo de simulação	34
TABELA 3.1	Percentuais de participação em área da bacia do rio Gramame por município	46
TABELA 3.2	Áreas das sub-bacias da bacia do rio Gramame	48
TABELA 3.3	Ecossistemas e grau de antropismo da bacia do rio Gramame, em 1998	50
TABELA 3.4	Dados climatológicos médios medidos na estação climatológica da cidade de João Pessoa	57
TABELA 3.5	Evaporação média mensal do tanque classe “A” da ETA de Marés (mm)	57
TABELA 3.6	Postos pluviométricos operados pela CAGEPA na bacia do Rio Gramame	58
TABELA 3.7	Postos pluviométricos administrados pela SUDENE	58
TABELA 3.8	Postos pluviométricos consistidos utilizados para o cálculo da precipitação na bacia do rio Gramame	59
TABELA 3.9.	Postos fluviométricos da bacia hidrográfica do rio Gramame	59
TABELA 3.10	População urbana a ser atendida nos horizontes de projeto	61
TABELA 3.11	Demandas hídricas para a população urbana nos horizontes de projeto	62
TABELA 3.12	Demandas hídricas para irrigação na bacia do rio Gramame	63
TABELA 3.13	Vazões Médias de Esgoto e Carga Orgânica lançada na bacia do rio Gramame	64
TABELA 3.14	Cenários de qualidade da água analisados para o rio Água Boa	67
TABELA 3.15	Cenários de qualidade da água analisados para o Alto Gramame	67
TABELA 3.16	Critérios de Enquadramento adotados na DZ 208	68
TABELA 3.17	Identificação dos Pontos de Controle da Bacia do Rio Gramame	69
TABELA 4.1	Variabilidade mensal da demanda hídrica da agroindústria GIASA, em m^3/s	73
TABELA 4.2	Variabilidade mensal da demanda hídrica do município de Conde, em l/s	74
TABELA 4.3	Variabilidade mensal da demanda hídrica do município Pedras de Fogo, em l/s	74
TABELA 4.4	Demanda urbana da Grande João Pessoa na bacia do rio Gramame, em l/s	74
TABELA 4.5	Critérios de determinação da vazão máxima outorgável aplicáveis à bacia do rio Gramame	75
TABELA 4.6	Vazões Q_{90} anuais (para toda série hidrológica) nas seções de interesse da bacia do rio Gramame, em m^3/s	76
TABELA 4.7	Vazões regularizáveis com 90% de garantia, em m^3/s	77
TABELA 4.8	Vazões Q_{90} dos períodos seco (setembro a fevereiro) e chuvoso (março a agosto) nas seções de interesse da bacia do rio Gramame, em m^3/s	78
TABELA 4.9	Vazões Q_{90} mensais nas seções de interesse da bacia do rio Gramame, em m^3/h	79
TABELA 4.10	Configurações (infra-estrutura, demanda e regra operacional) analisadas na bacia do rio Gramame	81
TABELA 4.11	Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 1 demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual)	82
TABELA 4.12	Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 2 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 600l/s)	82
TABELA 4.13	Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 3 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 600l/s)	82
TABELA 4.14	Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 4 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 1.000l/s + nível de alerta de 50%)	82
TABELA 4.15	Cota e volume iniciais de simulação dos reservatórios da bacia do rio Gramame	84
TABELA 4.16	Vazão de diluição requerida por PC e dados necessários ao seu cálculo	96
TABELA 4.17	Médias das medições mensais de concentração de DBO na estação MB 01, em mg/l	97
TABELA 4.18	Vazão de diluição mensal requerida pelo curso d'água, em l/s	98
TABELA 4.19	DBO nos diversos trechos dos rios Água Boa e Gramame, para os cenários AB2 e AG5 ..	100
TABELA 4.20	Coefficientes de DBO nos diversos trechos dos rios Água Boa e Gramame, para os cenários AB2 e AG5	100
TABELA 4.21	Possibilidades de análise da introdução da vazão de diluição na bacia do rio Gramame	102
TABELA 4.22	Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 1 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual)	103
TABELA 4.23	Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 2 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda da GJP de 600l/s)	103

TABELA 4.24	Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 3 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda da GJP de 600l/s)	103
TABELA 4.25	Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 4 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda da GJP de 1.000l/s + nível de racionamento de 50%)	103
TABELA 5.1	Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 1	110
TABELA 5.2	Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 2	110
TABELA 5.3	Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 3	111
TABELA 5.4	Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 4	111
TABELA 5.5	Ordem crescente de benefícios gerados pelos critérios de outorga na bacia do rio Gramame, para cada parâmetro de desempenho na Configuração 1	122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Progressão temporal da oxidação da matéria orgânica: DBO exercida e DBO remanescente ao longo do tempo	26
FIGURA 3.1	Localização da Bacia do Rio Gramame	46
FIGURA 3.2	Hidrografia e divisão política da bacia do rio Gramame	47
FIGURA 3.3	Reservatórios da bacia do rio Gramame	54
FIGURA 3.4	Postos fluviométricos da bacia hidrográfica do rio Gramame	59
FIGURA 3.5	Estrutura das demandas na bacia do rio Gramame	60
FIGURA 3.6	Estações de amostragem (existentes e propostas) da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Gramame	65
FIGURA 3.7	Localização dos pontos de simulação do modelo QUAL2E	66
FIGURA 3.8	Identificação dos Pontos de Controle da bacia do rio Gramame	70
FIGURA 4.1	Representação da bacia do rio Gramame no PROPAGAR	83
FIGURA 4.2	Regra operacional de zoneamento adotada na bacia do rio Gramame	87
FIGURA 4.3	Gráfico de OD e DBO no cenário AB2	99
FIGURA 4.4	Gráfico do OD e DBO para o cenário AG5	99
FIGURA 4.5	Representação esquemática da depuração da carga lançada no PC 194 da bacia do rio Gramame	106
FIGURA 5.1	Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config. 1 (critérios)	113
FIGURA 5.2	Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios)	113
FIGURA 5.3	Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios)	113
FIGURA 5.4	Garantia temporal das demandas primárias para a Config. 1 (critérios)	114
FIGURA 5.5	Garantia temporal das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios)	115
FIGURA 5.6	Garantia temporal das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios)	115
FIGURA 5.7	Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config. 1 (critérios)	116
FIGURA 5.8	Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios)	116
FIGURA 5.9	Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios)	117
FIGURA 5.10	Resiliência das demandas primárias para a Config. 1 (critérios)	117
FIGURA 5.11	Resiliência das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios)	118
FIGURA 5.12	Resiliência das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios)	118
FIGURA 5.13	Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config. 1 (critérios)	119
FIGURA 5.14	Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios)	119
FIGURA 5.15	Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios)	120
FIGURA 5.16	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 1 (critérios)	120
FIGURA 5.17	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios)	121
FIGURA 5.18	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios)	121
FIGURA 5.19	Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config. 3 (critérios)	124
FIGURA 5.20	Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios)	124
FIGURA 5.21	Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios)	125
FIGURA 5.22	Garantia temporal das demandas primárias para a Config. 3 (critérios)	125
FIGURA 5.23	Garantia temporal das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios)	125
FIGURA 5.24	Garantia temporal das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios)	126
FIGURA 5.25	Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config. 3 (critérios)	126
FIGURA 5.26	Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios)	126
FIGURA 5.27	Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios)	127
FIGURA 5.28	Resiliência das demandas primárias para a Config. 3 (critérios)	127
FIGURA 5.29	Resiliência das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios)	128
FIGURA 5.30	Resiliência das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios)	128
FIGURA 5.31	Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config. 3 (critérios)	129
FIGURA 5.32	Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios)	129
FIGURA 5.33	Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios)	129
FIGURA 5.34	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 3 (critérios)	130
FIGURA 5.35	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios)	130
FIGURA 5.36	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios)	130
FIGURA 5.37	Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config. 4 (critérios)	132

FIGURA 5.38	Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios)	132
FIGURA 5.39	Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios)	132
FIGURA 5.40	Garantia temporal das demandas primárias para a Config. 4 (critérios)	133
FIGURA 5.41	Garantia temporal das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios)	133
FIGURA 5.42	Garantia temporal das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios)	133
FIGURA 5.43	Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config. 4 (critérios)	134
FIGURA 5.44	Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios)	134
FIGURA 5.45	Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios)	134
FIGURA 5.46	Resiliência das demandas primárias para a Config. 4 (critérios)	134
FIGURA 5.47	Resiliência das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios)	134
FIGURA 5.48	Resiliência das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios)	135
FIGURA 5.49	Vulnerabilidade das demandas primárias para a Config. 4 (critérios)	135
FIGURA 5.50	Vulnerabilidade das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios)	135
FIGURA 5.51	Vulnerabilidade das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios)	136
FIGURA 5.52	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 4 (critérios)	137
FIGURA 5.53	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios)	137
FIGURA 5.54	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios)	137
FIGURA 5.55	Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config.1 (qualidade)	140
FIGURA 5.56	Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade)	140
FIGURA 5.57	Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade)	140
FIGURA 5.58	Garantia volumétrica das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade)	140
FIGURA 5.59	Garantia temporal das demandas primárias para a Config.1 (qualidade)	141
FIGURA 5.60	Garantia temporal das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade)	141
FIGURA 5.61	Garantia temporal das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade)	141
FIGURA 5.62	Garantia temporal das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade)	141
FIGURA 5.63	Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config.1 (qualidade)	141
FIGURA 5.64	Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade)	141
FIGURA 5.65	Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade)	142
FIGURA 5.66	Garantia crítica temporal das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade)	142
FIGURA 5.67	Resiliência das demandas primárias para a Config.1 (qualidade)	142
FIGURA 5.68	Resiliência das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade)	142
FIGURA 5.69	Resiliência das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade)	142
FIGURA 5.70	Resiliência das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade)	142
FIGURA 5.71	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 1 (qualidade)	143
FIGURA 5.72	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade)	143
FIGURA 5.73	Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config.1 (qualidade)	143
FIGURA 5.74	Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade)	143
FIGURA 5.75	Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade)	144
FIGURA 5.76	Vulnerabilidade percentual das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade)	144
FIGURA 5.77	Garantia volumétrica das demandas para a Config. 4 (qualidade)	146
FIGURA 5.78	Garantia temporal das demandas para a Config. 4 (qualidade)	146
FIGURA 5.79	Garantia crítica temporal das demandas para a Config. 4 (qualidade)	146
FIGURA 5.80	Resiliência das demandas para a Config. 4 (qualidade)	146
FIGURA 5.81	Garantia volumétrica mínima mensal das demandas para a Config. 4 (qualidade)	147
FIGURA 5.82	Vulnerabilidade percentual das demandas para a Config. 4 (qualidade)	147
FIGURA 5.83	Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config.3 (qualidade)	149
FIGURA 5.84	Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade)	149
FIGURA 5.85	Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade)	149
FIGURA 5.86	Garantia volumétrica das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade)	149
FIGURA 5.87	Garantia temporal das demandas primárias para a Config.3 (qualidade)	150
FIGURA 5.88	Garantia temporal das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade)	150
FIGURA 5.89	Garantia temporal das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade)	150
FIGURA 5.90	Garantia temporal das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade)	150
FIGURA 5.91	Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config.3 (qualidade)	150
FIGURA 5.92	Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade)	150
FIGURA 5.93	Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade)	151
FIGURA 5.94	Garantia crítica temporal das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade)	151
FIGURA 5.95	Resiliência das demandas primárias para a Config.3 (qualidade)	151

FIGURA 5.96	Resiliência das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade)	151
FIGURA 5.97	Resiliência das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade)	151
FIGURA 5.98	Resiliência das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade)	151
FIGURA 5.99	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 3 (qualidade)	152
FIGURA 5.100	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade)	152
FIGURA 5.101	Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config.3 (qualidade)	152
FIGURA 5.102	Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade)	152
FIGURA 5.103	Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade)	153
FIGURA 5.104	Vulnerabilidade percentual das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade)	153
FIGURA 5.105	Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config.4 (qualidade)	155
FIGURA 5.106	Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade)	155
FIGURA 5.107	Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade)	156
FIGURA 5.108	Garantia volumétrica das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade)	156
FIGURA 5.109	Garantia temporal das demandas primárias para a Config.4 (qualidade)	156
FIGURA 5.110	Garantia temporal das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade)	156
FIGURA 5.111	Garantia temporal das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade)	156
FIGURA 5.112	Garantia temporal das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade)	156
FIGURA 5.113	Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config.4 (qualidade)	157
FIGURA 5.114	Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade)	157
FIGURA 5.115	Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade)	157
FIGURA 5.116	Garantia crítica temporal das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade)	157
FIGURA 5.117	Resiliência das demandas primárias para a Config.4 (qualidade)	157
FIGURA 5.118	Resiliência das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade)	157
FIGURA 5.119	Resiliência das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade)	158
FIGURA 5.120	Resiliência das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade)	158
FIGURA 5.121	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 4 (qualidade)	158
FIGURA 5.122	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 4 (qualidade)	158
FIGURA 5.123	Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 4 (qualidade)	158
FIGURA 5.124	Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config.4 (qualidade)	159
FIGURA 5.125	Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade)	159
FIGURA 5.126	Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade)	159
FIGURA 5.127	Vulnerabilidade percentual das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade)	159

LISTA DE VARIÁVEIS

$AREA_{SB}$	Área da sub-bacia.
C	Concentração de DBO remanescente em t (mg/l).
$Cate_{j-1,DBO}$	Concentração de DBO atendida na seção $j-1$.
cc_i	Coefficiente de contribuição da sub-bacia i para o PC considerado.
$Cefl_{i,j,k}$	Concentração do parâmetro k lançada pelo usuário i , na seção j .
$Cenq_{j,k}$	Concentração máxima permitida pelo enquadramento para o parâmetro k , na seção j do curso d'água.
$Cg_{i,j,k}$	Carga lançada pelo usuário i , na seção j , correspondente ao parâmetro k .
$Clib_{j-1 a j,DBO}$	Concentração de DBO depurada (exercida) no trecho entre as seções $j-1$ e j .
C_0	DBO remanescente em $t=0$ (mg/l).
$Crem_{j,DBO}$	Concentração de DBO remanescente na seção j do curso d'água.
DA_t	Demanda atendida do referido usuário no mês t .
$DD_j(t)$	Demanda difusa j a ser atendida na sub-bacia i (m^3/s), durante o intervalo de tempo t .
$dias_t$	Número de dias do mês t em questão.
$DL_j(t)$	Demanda localizada requerida no PC (m^3/s), no intervalo de tempo t .
DR_t	Demanda requerida, ou de referência, do referido usuário no mês t .
$D(t)$	Total das demandas concentradas a serem supridas nesse PC.
ED	Escala de desenvolvimento.
e_j	Probabilidade que X_j , correspondente a s_j , seja a mais severa saída (resposta) residente do sistema que ocorra em um conjunto de estados insatisfatórios F .
$E[S(t),S(t+1)]$	Evaporação do reservatório subtraída da precipitação, calculada em função dos armazenamentos $S(t)$ e $S(t+1)$.
$E[T_F]$	Valor esperado do comprimento de tempo que a saída do sistema ou desempenho permanece insatisfatório.
F	Conjuntos de saídas insatisfatórias do sistema (falhas).
FC	Fator de conversão de unidades da classe de demanda à qual a demanda pertence, transformando UCA para m^3/s .
$FI(t)$	Fator de implantação.
K_I	Coefficiente de desoxigenação (dia^{-1}).
K_{120}	K_I a uma temperatura $T = 20$ °C (dia^{-1}).
K_{1T}	K_I a uma temperatura T qualquer (dia^{-1}).
K_{dom}	Carga afluyente de DBO proveniente dos esgotos domésticos, em kg/dia.
$K_{per\ capita}$	Contribuição de DBO, por habitante, para os esgotos domésticos, em g/hab.dia.
n	Comprimento total do tempo de observação do sistema hídrico.
NC	Nível crítico de falhas volumétricas mensais.
pop	Número de habitantes da localidade que contribui para os esgotos.
$Q_{7,10}$	Média das vazões de 7 dias consecutivos de estiagem, com tempo de retorno de 10 anos.
Q_{90}	Vazão cuja probabilidade de superação é de 90%.
$Qate_{j-1,DBO}$	Demanda de diluição da concentração de DBO atendida em $j-1$.
$Qcapta_{i,j}$	Vazão de captação para o usuário i na seção j .
$Qdilui_{i,j,k}$	Vazão de diluição para o parâmetro k requisitada pelo usuário i , na seção j .
$Qdilui_{i,j,k,\eta_{j-1 a j,DBO}}$	Vazão de diluição para o parâmetro k remanescente (calculado com base no coeficiente de depuração $\eta_{j-1 a j,DBO}$, requisitada pelo usuário i , na seção ou PC j).
$QD_i(t)$	Vazão resultante do processo de transformação chuva-vazão na sub-bacia i (m^3/s), durante o intervalo de tempo t .
$Qefl_{i,j,k}$	Vazão de lançamento de efluente pelo usuário i , na seção j , correspondente ao parâmetro k .
$Qlib_{j,DBO}$	Vazão de diluição da concentração de DBO, que é liberada para novos usos na seção j .
$Qmax\ outorgavel_j$	Vazão máxima outorgável para a captação na seção j .
$Qmax\ outorgavel\ total_j$	Soma da vazão máxima outorgável para a captação com a vazão máxima outorgável para diluição na seção j .
$Qoutorgada_{i,j}$	Vazão outorgada para captação do usuário i na seção j .
$Qoutorgada\ total_{i,j}$	Soma da vazão outorgada para captação e para diluição para o usuário i na seção j .
$Qrem_{j,DBO}$	Vazão de diluição correspondente à concentração de DBO remanescente em j .
$Q_{sb}(t)$	Vazão afluyente total das sub-bacias contribuintes a um determinado PC (m^3/s), no intervalo de tempo t , já descontadas as demandas difusas.
$Q(t)$	Vazão afluyente total, dada pela soma da contribuição das sub-bacias incrementais com a contribuição dos PCs de montante.

$R[D(t)]$	Retornos dos diversos usos que são supridos no PC.
S	Conjunto de todas as saídas satisfatórias (sucessos).
s_j	Indicador numérico de severidade do estado de falha.
$S(t)$	Estado de armazenamento do reservatório no instante t .
t	Tempo (dia).
T	Temperatura do líquido em °C.
T_F	Comprimento do tempo (intervalo de tempo) no qual o sistema entre e permaneça em falha.
\overline{T}_F	Média (ou tempo residente médio) do estado insatisfatório ou falha.
$UCA_j(t)$	Demanda j , em Unidades de Consumo de Água, no intervalo de tempo t .
$UD_j(t)$	Número de unidades de demanda j que deverá ser atendido no intervalo de tempo t no PC, na sub-bacia.
VDA_t	Volume atendido de determinada demanda no mês t .
VDR_t	Volume de referência de determinada demanda no mês t .
W_t	Variável ou indicador de transição de um estado satisfatório para um insatisfatório.
X_j	Estado de falha discreta no tempo j , com $j \in F$.
X_t	Variável randômica que representa a saída do sistema no tempo t .
$X(t)$	Vazão defluente do PC, no intervalo de tempo t .
y	DBO exercida no tempo t (mg/l).
Z_t	Variável ou indicador de estado satisfatório ou insatisfatório.
α	Confiabilidade do sistema hídrico.
α_C	Garantia crítica temporal
α_i	Coefficiente de uso da vazão de captação do usuário i .
α_M	Mínima garantia volumétrica mensal, observada em todo o período simulado.
α_t	Garantia volumétrica da demanda no mês t .
α_V	Garantia volumétrica total.
β_k	Coefficiente de uso da vazão de diluição referente ao parâmetro k .
γ	Resiliência do sistema hídrico.
$\eta_{j-1 \text{ a } j, DBO}$	Coefficiente de depuração da DBO entre as seções $j-1$ e j .
v	Vulnerabilidade do sistema hídrico.
θ	Coefficiente de temperatura, cujo valor geralmente empregado é 1,047.
ρ	Probabilidade do sistema estar (ou ser) bem sucedido em algum período t e ir para o conjunto de falhas F no período seguinte.
$\tau_{i,j}$	Taxa de retorno do usuário i na seção j .

1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

A demanda crescente por alimentação e energia, decorrente do crescimento populacional global, está aumentando cada vez mais o consumo doméstico e industrial de água, essencial a quase todas as atividades e não tendo substitutos na maioria delas. Conseqüentemente, para atender a essa demanda, rios estão sendo transformados em riachos e aquíferos subterrâneos estão se esgotando, sem maiores precauções, em ritmo acelerado.

Embora o Brasil possua a maior reserva hídrica superficial do planeta, o país sofre com sua escassez. Esse fato decorre não apenas da má distribuição espacial e temporal de suas disponibilidades hídricas, mas também do comprometimento da qualidade das águas disponíveis e da ineficiência da gestão dos recursos hídricos.

A situação atual da bacia do rio Gramame, localizada no litoral sul do Estado da Paraíba e que abastece a Grande João Pessoa, caracteriza bem esse quadro alarmante que os recursos hídricos do país vêm enfrentando.

O desenvolvimento desenfreado e predatório da Grande João Pessoa e do uso e ocupação do solo na bacia do rio Gramame, diante da falta de consciência ambiental de seus ocupantes e da ausência de um planejamento adequado para o desenvolvimento da região, vêm tornando freqüentes os conflitos entre seus principais usuários de água (abastecimento urbano, indústrias e irrigantes).

Tanto a escassez quantitativa, quanto a qualitativa, inserem-se no contexto da bacia, gerando a necessidade urgente de ações que visem racionalizar e disciplinar o uso dos recursos hídricos da região, baseadas em estudos integrados dos diversos setores usuários. Dessa forma, torna-se importante a atuação do governo a fim de equilibrar a exploração econômica da bacia com o abastecimento humano e a conservação ambiental de seus mananciais.

Segundo Silva (1997), a outorga do uso da água é *“um instrumento essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois a mesma possui aspectos técnicos, legais e econômicos que, bem articulados, colaboram para o sucesso da implementação de um sistema racionalizado do uso dos mananciais”*.

Assim, é indiscutível a importância do instrumento de outorga para a alocação eficiente dos recursos hídricos numa região propensa a conflitos de origem quantitativa e

qualitativa, como a bacia do rio Gramame. Até a implementação da cobrança pelo uso da água, defendida por muitos, está vinculada à outorga de direitos de uso, destacando ainda mais a necessidade de um estudo exaustivo das possibilidades de implementação da outorga na bacia, de forma que o sistema definido seja o mais adequado aos seus condicionantes.

Para tanto, é imperativa e urgente a análise do sistema de outorga a ser empregado na bacia, tanto no que diz respeito à determinação da vazão máxima outorgável, quanto à introdução da qualidade da água nesse processo, para sua implementação em curto prazo. Além disso, um estudo vinculando qualidade e quantidade na outorga ainda é inédito na bacia em questão, embora seja do conhecimento de todos o caráter complementar dessas duas propriedades, bem como o agravamento da poluição dos cursos d'água da bacia do rio Gramame.

1.2 OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivo principal definir uma melhor alocação dos recursos hídricos disponíveis em bacias litorâneas do Nordeste brasileiro, limitados pela escassez quantitativa e qualitativa, através do emprego da outorga de direitos de uso da água.

Para tanto, são abordados dois dos principais problemas na implementação desse instrumento de gestão: a definição da vazão máxima a ser outorgada; e a integração dos aspectos qualitativos dos recursos hídricos.

No que diz respeito à vazão máxima outorgável, são estabelecidos como objetivos específicos:

- Propor e definir critérios de determinação da vazão máxima outorgável, de forma a disponibilizar um maior volume de água para os usos e considerar os condicionantes da região em estudo;
- Avaliar a aplicabilidade dos critérios de outorga propostos, utilizando a metodologia concebida para tal.

Quanto à introdução da qualidade da água no processo de outorga, esta é abordada de forma simplificada, através da outorga de diluição, visando atingir os seguintes propósitos:

- Propor alterações no método de determinação da vazão de diluição, de forma a serem considerados aspectos importantes, como a concentração de poluentes dos cursos d'água e a vazão de lançamento de despejos;

- Verificar a sensibilidade do sistema hídrico à consideração da qualidade da água no processo de outorga, utilizando a proposta do item anterior;
- Conceber e empregar uma forma simplificada de introdução da capacidade de assimilação de poluentes do corpo hídrico (autodepuração) no processo de outorga da vazão de diluição, através de coeficientes fixos que representem a depuração em cada trecho.

Além dos objetivos acima explicitados, também nesse trabalho são definidos e avaliados indicadores de desempenho dos sistemas hídricos que permitam uma melhor análise dos cenários simulados, mediante a consideração de seus aspectos mais relevantes.

Visando o alcance dos propósitos apresentados, os procedimentos concebidos para a análise da vazão máxima outorgável e a introdução simplificada da qualidade da água foram aplicados à bacia do rio Gramame, representativa da região litorânea do Nordeste brasileiro, e avaliados pelos parâmetros de desempenho propostos.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

Nesse item é feita uma descrição, de forma sucinta, do conteúdo dos seis capítulos do texto.

O presente Capítulo, conforme visto, apresenta a motivação principal para a realização do estudo, destacando os objetivos do mesmo e a forma como esse estudo está disposto no texto.

No Capítulo 2, inicialmente, destaca-se como a outorga de direito de uso da água se insere no contexto da gestão dos recursos hídricos. Em seguida, são apresentadas legislações que contemplam a outorga como instrumento de gestão e os principais critérios empregados na sua implementação. Também são mostrados alguns conceitos básicos de qualidade da água, para sua introdução no processo de outorga, destacando a importância da vazão de diluição. Além disso, descrevem-se parâmetros para avaliação de sistemas hídricos, que se utilizam dos resultados de modelos de simulação, como o PROPAGAR MOO.

No Capítulo 3, são descritas as principais características sociais, econômicas, físicas e climatológicas da bacia do rio Gramame, objeto de estudo, juntamente com sua infra-estrutura pertinente e futura. Destacam-se, ainda, os principais problemas com os quais se deparam seus usuários de água e as informações disponíveis da bacia para a realização do estudo.

O Capítulo 4 apresenta, de forma detalhada, as etapas metodológicas adotadas tanto para a análise dos critérios de outorga, quanto para a introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga. Em cada etapa da metodologia, é mostrada também sua aplicação na bacia do rio Gramame, bem como alguns conceitos e simplificações propostos.

O Capítulo 5 mostra a análise e a comparação dos resultados da simulação dos diversos cenários estabelecidos, através dos respectivos parâmetros de avaliação de desempenho.

No Capítulo 6, tendo por base os objetivos e os resultados do estudo, são dispostas as conclusões e recomendações, para permitir que futuros trabalhos sejam estruturados de modo a superar as dificuldades encontradas e considerar os aspectos relevantes aqui destacados.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

O Brasil é o país com maior disponibilidade hídrica renovável per capita do planeta (Lanna, 2001). Entretanto, a água se dispõe de maneira heterogênea no seu território: enquanto na região amazônica se encontra a maior bacia fluvial do mundo, onde se insere o maior rio do globo em termos de volume de água, a região nordestina é constantemente castigada pela falta de água para suas necessidades básicas. Por isso, mesmo com grande potencial hídrico, a água é objeto de conflito em várias regiões do país.

Além da escassez quantitativa, enfrentada por muitos Estados brasileiros, a disponibilidade hídrica do país tem sido também cada vez mais comprometida pela perda de sua qualidade. Para que se tenha uma idéia da gravidade da situação, mais de 90% do esgoto urbano do Brasil é lançado nos cursos d'água sem qualquer tratamento (Banco Mundial, 2002).

A falta de gerenciamento dos recursos hídricos ou a gestão pouco ou nada compatível com as características físicas, climáticas e ambientais, que determinam as condições quantitativas e qualitativas do potencial hídrico da região, é outro agravante da oferta temporal e espacial desses recursos.

Por tudo isso, aspectos relacionados com meio ambiente, sociedade, cultura e economia precisam ser incorporados à concepção de escassez hídrica numa região, uma vez que esta não é apenas consequência de um fenômeno físico (Paiva, 2001).

Dentro deste contexto, a situação do Nordeste deve ser destacada. Com cerca de 28% do total da população brasileira, a região dispõe de apenas 3% da disponibilidade hídrica nacional. A precipitação insuficiente e má distribuída temporal e espacialmente, juntamente com as elevadas taxas de evapotranspiração, são os grandes responsáveis pela escassez quantitativa de água nessa região. Aliado às condições climáticas adversas, o uso das águas superficiais como destino de efluentes industriais, agrícolas e domésticos compromete ainda mais os recursos hídricos, gerando a escassez qualitativa.

No entanto, apesar dessa situação caótica, as soluções alternativas existem, o que falta é a visão crítica do poder público e da sociedade de que o comprometimento da qualidade e da quantidade de água repercute nas economias, no meio ambiente e na própria sociedade, em escala global, regional e local (Tundisi, 2000).

2.2 USO MÚLTIPLO DA ÁGUA

Quando a água é utilizada para múltiplas finalidades, os usos podem se tornar conflitantes, devido à sua inadequada qualidade ou quantidade, ficando evidente a necessidade de uma hierarquização de prioridades entre esses usos para resolver ou, ao menos, minimizar os conflitos.

Isso ocorre devido à ausência de uma consciência crítica de que os recursos hídricos são limitados e à falta de uma visão conjunta das possibilidades de aproveitamento dos recursos hídricos, para que estes sejam alocados da forma mais eficiente possível. Além disso, o crescimento da variedade de usos da água na sociedade moderna também contribui para o aumento dos conflitos.

Segundo Lanna (1999), as vantagens do estabelecimento do uso múltiplo numa bacia são:

- Possibilidade de atendimento a vários usos, concomitantemente ou não, sem a necessidade de sua expansão. É o chamado compartilhamento do sistema.
- Economia na construção de um projeto que atenda a todos os usos, frente aos projetos para usos singulares. Isso ocorre quando os custos por unidade da dimensão do projeto reduzem com a dimensão total. Como este efeito decorre da escala maior do empreendimento, ele é denominado de economia de escala.

As desvantagens dos usos múltiplos são de caráter gerencial, como o estabelecimento de regras operacionais complexas e a necessidade de centralização das decisões. Mas, segundo o referido autor, é importante ressaltar que *“o uso múltiplo dos recursos hídricos não é uma opção que faz o planejador, mas uma realidade que ele enfrenta com o desenvolvimento econômico”*.

2.3 NECESSIDADE DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Para a compatibilização entre as demandas, resultado do uso múltiplo das águas, e as disponibilidades hídricas, dois tipos de intervenções podem ser empregados (Lanna, 1999): estruturais e não-estruturais. As primeiras modificam o regime hidrológico no espaço e no tempo, como a construção de barragens, adaptando-o às necessidades das demandas. As medidas não-estruturais são os diversos instrumentos de gestão que podem ser usados, como os seguros agrícolas, a regulamentação do uso do solo, a outorga de uso da água e a cobrança.

A formação do povo brasileiro, baseada na cultura equivocada de abundância de água, fez com que a gestão dos recursos hídricos fosse relegada a segundo plano, mesmo em regiões onde estes são escassos e mal distribuídos temporalmente, como o Nordeste (Dutra Neto e Santos, 2002).

Devido a essa concepção e ao caráter político de matriz eleitoral, inicialmente as alternativas estruturais, através do aumento da disponibilidade de água, foram apontadas como as soluções para o problema da escassez (Moreira, 2001). Conseqüentemente, emergiram problemas como:

- A limitação superior dos recursos hídricos, a partir da qual a implementação de mais infra-estrutura não resultará em acréscimos à oferta, podendo até aumentar as perdas com evaporação, infiltração e salinização;
- Os grandes desperdícios, devido ao aumento da oferta sem estímulo ao uso racional da água.

Somente a partir da década de 90, passaram a ser empregadas medidas não-estruturais para um uso mais eficiente e racional dos recursos hídricos. As necessidades de manejo, gerenciamento e monitoramento são evidentes, devido a problemas inerentes às próprias características naturais da água (Pires, 1996):

- A água existe em quantidade limitada, embora seja um recurso renovável;
- A água é essencial aos processos biológicos humanos e, por isso, é de importância vital para todas as sociedades;
- A água tem múltiplas utilidades, às vezes concorrentes entre si.

De acordo com Campos e Vieira (1993), gerenciamento dos recursos hídricos pode ser resumido em: conhecer os recursos hídricos, usá-los com sabedoria e regulamentar seus usos para evitar e solucionar conflitos, sendo fator essencial para a sustentabilidade da vida na terra, evitando o caos às futuras gerações.

Granziera (1993) apud Andreazza et al. (1994) considera que, para uma gestão adequada dos recursos hídricos, sempre devem ser avaliadas sua quantidade e qualidade, de modo a promover o uso racional dos mesmos, procurando compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com os valores ambientais, nos âmbitos regional, nacional e internacional.

O gerenciamento dos recursos hídricos impõe dois níveis centrais de problemas (Schvartzman e Diniz, 2001): a gestão da oferta de água, visando disponibilizá-la em quantidade e qualidade, e a gestão da demanda, procurando racionalizar e disciplinar o uso.

Para uma adequada implementação do gerenciamento dos recursos hídricos é necessário dispor de tecnologia, instrumentos e recursos humanos (Conejo, 1993). A tecnologia é essencial para a medição dos fenômenos hidrológicos, das derivações, bem como para a determinação da disponibilidade hídrica e da capacidade de assimilação dos cursos d'água. Os instrumentos são mecanismos, regras e normas técnicas, econômicas e legais. E os recursos humanos envolvem decisores, técnicos, usuários, sociedade e todos aqueles interessados nas questões hídricas.

2.4 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

2.4.1 Instrumentos para a Gestão dos Recursos Hídricos

Os instrumentos regulatórios e econômicos são os dois grandes grupos de mecanismos disponíveis para viabilizar a gestão dos recursos hídricos de um país (Ribeiro e Lanna, 2001).

a) Instrumentos Regulatórios

Também chamados de instrumentos de regulação, normativos, de regulamentação, de políticas de “comando e controle”, esses instrumentos funcionam através da intervenção do poder público no estabelecimento de padrões e no monitoramento da qualidade ambiental, bem como na regulamentação das atividades e aplicação de sanções e penalidades, por intermédio de legislações e normas. Como se baseiam na imposição, por parte da autoridade, de normas de utilização dos recursos naturais, os agentes não têm escolha no seu cumprimento.

As principais vantagens oferecidas por esses instrumentos são a familiaridade das autoridades com a política de regulamentação e sua maior aceitabilidade por parte dos usuários.

Como desvantagens, podem-se citar os altos custos administrativos, a ineficiência econômica e a falta de estímulo ao usuário na busca de novos aprimoramentos tecnológicos.

Exemplos desses instrumentos são o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso preponderantes, as licenças ambientais e a outorga de direito de uso da água, que são basicamente o estabelecimento de cotas e padrões.

No tocante à qualidade da água, como esses instrumentos atuam como limitadores das cargas poluidoras recebidas pelos recursos hídricos, sua efetividade no controle da poluição revela-se apenas na mitigação, mas não na recuperação desses recursos.

O controle pode ser efetuado de duas formas (Conejo, 1993): controle no uso e controle por objetivos. No controle no uso, são estabelecidos restrições e padrões na captação e/ou lançamento de efluentes, tendo caráter pontual e critérios, como a quantidade de água a ser captada e a carga poluidora a ser lançada. No controle por objetivos, são determinadas restrições de caráter global, regional, com base em: metas de quantidade e/ou qualidade (vazões de restrições a jusante e capacidade de autodepuração); metas que compatibilizem o desenvolvimentos regional com as condições ambientais; e desenvolvimento tecnológico previsto.

b) Instrumentos Econômicos

Os instrumentos econômicos fazem uso de mecanismos de mercado, como preços e custos, para combater a escassez dos recursos naturais ou os danos ambientais. Procuram promover a eficiência econômica pela internalização de custos externos, ou seja, pela consideração, por parte do usuário, de custos derivados dos efeitos prejudiciais a terceiros, ocasionados pela produção ou uso de bens e serviços. Como exemplos desses instrumentos, tem-se a cobrança pelo uso da água e os mercados de uso da água e de poluição. Uma das vantagens da aplicação desses instrumentos é permitir aos agentes agirem da maneira que acharem mais conveniente aos seus interesses, ao contrário dos instrumentos regulatórios.

2.4.2 Aspectos Considerados na Gestão dos Recursos Hídricos

Uma das principais funções dos sistemas de gestão é o gerenciamento das demandas, que deve abranger tanto o aspecto quantitativo quanto o qualitativo (Leal, 1997). O primeiro se refere à escassez e à alocação da água entre os diversos usos, enquanto o aspecto qualitativo abrange o controle e a melhoria da qualidade da água.

a) Aspectos Quantitativos

A escassez de água é um problema basicamente relacionado com a forma que a água é distribuída entre seus usuários potenciais. Assim, sua solução se baseia numa melhor

alocação da água, otimizando os processos de utilização para diminuir o consumo dos usuários e, desse modo, possibilitar o acesso de outros.

A relocação da água pode ser alcançada principalmente através da utilização de três instrumentos de gestão: outorgas de direitos de uso, mercados de direitos de uso da água e cobrança pelo uso da água.

b) Aspectos Qualitativos

A melhor forma de garantir a qualidade da água é melhorar as condições vigentes, quando estas já são críticas, ou controlar as utilizações futuras, prevenindo danos, ou seja, consistem em ações de melhoria e ações preventivas (Leal, 1997).

Nesse sentido, podem ser empregados diferentes instrumentos de gestão, tanto regulatórios, como a outorga de lançamento ou da vazão de diluição e o licenciamento ambiental, quanto econômicos, como a cobrança pelos lançamentos e o mercado de licenças.

No entanto, somente a outorga, em isolado ou associada a outros instrumentos, como a cobrança pelo uso da água, é capaz de alcançar quase todos os objetivos quantitativos e qualitativos do gerenciamento dos recursos hídricos (Pires, 1996). Dessa forma, este instrumento regulatório é objeto do item seguinte.

2.5 OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA

2.5.1 Tipos de Outorga

Os tipos de outorga mais comuns são (Ribeiro, 2000):

- Outorga ripária: Outorga vinculada à terra, tendo a água características de bem privado, ou seja, a água pertence ao proprietário do terreno adjacente ao curso d'água. Não existe uma entidade superior para definir usos prioritários e dirimir os conflitos, que são resolvidos por vias jurídicas morosas, geralmente protegendo os grandes proprietários. Não combate à escassez, uma vez que não estabelece usos prioritários, nem vazão máxima a ser captada;
- Outorga comercializável ou transferível: A água é um bem econômico livremente comercializável através de um mercado, regido pela lei da oferta e da procura.

Este tipo só é eficiente para tratar a escassez quantitativa e em um mercado de concorrência perfeita, o que não ocorre quando o bem a ser considerado é a água;

- **Outorga controlada:** Quando o poder público é responsabilizado pela emissão e controle das outorgas, com base em aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Por considerar essas questões, combate a escassez e permite o acesso ao uso da água dos usuários de baixa renda, logo o poder público é capaz de manter e preservar a água para o uso das gerações atuais e futuras.

Nos Estados Unidos, geralmente os direitos de uso da água são concedidos segundo a outorga ripária e um outro tipo de outorga: por apropriação anterior (Wurbs and Walls, 1989). A outorga por apropriação anterior é baseada no conceito “primeiro no tempo é o primeiro no direito”, ou seja, as outorgas são concedidas dando prioridade aos usuários que se apropriaram da água há mais tempo.

Como o modelo de outorga controlada é o adotado no Brasil, foi apenas este o tipo de outorga a ser considerado no desenvolvimento deste estudo.

2.5.2 Aspectos Conceituais da Outorga

De acordo com Lanna (2000), a outorga é um *“instrumento discricionário que o poder público, detentor do domínio das águas, dispõe para promover o seu uso adequado sob o ponto de vista da sociedade como um todo, limitando, por um lado, os poderes deliberativos dos organismos de bacia. Por outro lado, ao fundamentar os critérios de outorga nos interesses destes mesmos organismos, permite a adoção de um instrumento de racionalização de uso da água quando outros mecanismos de indução não funcionam”*. Em outras palavras, outorga é simplesmente o direito legal de usar a água (Wurbs, 1995).

A outorga, implementada isolada ou em conjunto com outros instrumentos de gestão, desempenha importante papel no desenvolvimento sócio-econômico da bacia hidrográfica, pois funciona como um poderoso mecanismo de incentivo ou restrição às atividades que requerem seu uso intensivo ou sejam poluidoras, beneficiando a sociedade atual e as futuras gerações.

Como a outorga garante o acesso a um bem escasso, tem valor econômico para quem a recebe (Kelman,1997). Entretanto, do ponto de vista do outorgado, embora legitime o uso dos recursos hídricos que, na sua ausência, assumem características de clandestinos, a outorga o coloca sob o conhecimento do poder público, no tocante a sua demanda hídrica, o que nem sempre é desejado por alguns usuários, por temerem o corte de seu suprimento (Souza Filho e

Campos, 1996). Mas, em situações de escassez, apenas aqueles que seguirem o procedimento legal terão a garantia de utilização da água.

É mister que os critérios de outorga, bem como todos os demais instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos, devem considerar as particularidades do regime hidrológico de cada região, os condicionantes jurídicos e institucionais, respeitando os interesses específicos de cada Estado (Campos e Vieira, 1993). Para o estabelecimento de um modelo de outorga adequado às necessidades regionais são determinantes (Leal, 1997): as características físicas naturais da região; seu estágio de utilização de recursos naturais e de degradação ambiental, associados ao grau de desenvolvimento econômico; o nível sócio-econômico da população, a ocupação territorial e as atividades econômicas típicas; e o nível de desenvolvimento político-institucional.

Para a operacionalização da outorga, o poder outorgante deve possuir um sistema capaz de: analisar a possibilidade de atendimento a cada solicitação, frente aos condicionantes do meio; estimar o impacto de usos potenciais e futuros no curso d'água; e deferir ou negar o pedido de outorga.

Segundo Paiva (2001), a eficiência de um sistema de outorga, tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo, depende também “*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*”. Dessa forma, com base em dados mais confiáveis para simulações dos sistemas, será possível o estabelecimento de critérios mais realistas de outorga, fornecendo subsídios para um gerenciamento mais eficiente dos recursos hídricos da região.

Além disso, grande parte da sociedade ainda interpreta o procedimento de outorga como uma mera burocracia, desconsiderando sua imensa capacidade como indicador de consolidação de sua cidadania, garantindo-lhe o direito de uso dos recursos hídricos, num horizonte temporal que lhe permita explorá-los de modo sustentável (Gazeta Mercantil, 1999).

Os principais problemas relacionados à outorga são de ordem teórica, de concepção, e de ordem prática, de operacionalização (Paiva e Ribeiro, 2000), dentre os quais se pode destacar: a falta de disponibilidade de dados fluviométricos e pluviométricos; a ausência de dados de cargas de poluentes, provenientes de fontes pontuais e difusas; o desconhecimento sobre usuários e suas demandas; a definição mais adequada da vazão ecológica e da vazão máxima outorgável; e a integração dos aspectos qualitativos da água no processo de outorga. Esses dois últimos problemas são detalhados mais adiante (itens 2.7 e 2.9).

2.6 ARCABOUÇO LEGAL DA OUTORGA NO BRASIL E NO ESTADO DA PARAÍBA

Por todas as características e problemáticas relacionadas à água, é indispensável que o acesso a ela e seus usos sejam regulamentados para desestimular o desperdício e incentivar os processos naturais ou artificiais de reciclagem (Dutra Neto e Santos, 2002). A seguir são relacionadas as principais legislações referentes ao gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil e no Estado da Paraíba, principalmente no que diz respeito à outorga.

2.6.1 Leis e Decretos Federais

a) Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934 – o Código das Águas

O Decreto Federal nº 24.643/34, denominado de Código das Águas, é considerado um marco na legislação brasileira por ter sido o primeiro dispositivo legal a reconhecer o direito de uso e o gerenciamento dos recursos hídricos.

O Código definiu os tipos de propriedades das águas como: águas públicas, águas comuns e águas particulares. Também foi responsável pela introdução, no cenário brasileiro, da outorga como um dos principais instrumentos para uma eficiente gestão dos recursos hídricos, sendo de competência dos Estados ou da União. Seu pioneirismo ainda se fez presente nas restrições impostas ao lançamento de poluentes nos corpos d'água e na defesa do uso múltiplo da água.

b) Constituição Federal, de 5 de outubro de 1988

Uma questão de fundamental importância para os recursos hídricos é o domínio das águas. No Brasil, os titulares dos bens públicos, como as águas, são definidos pela Constituição Federal (Pompeu, 1993).

A Constituição Federal de 1988 introduziu algumas modificações no Código das Águas, excluindo o domínio das águas pelos municípios e particulares, e passando todas as águas ao domínio público, seja de caráter federal ou estadual, dependendo da localização dos corpos hídricos. Além disso, estabeleceu novos princípios quanto à administração da água, conferindo à União a competência de instituir um Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso (Art. 21, inciso XIX), e agregando à água um atributo econômico.

De posse da dominialidade de suas águas, Estados como São Paulo, Ceará, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia, Sergipe, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pará e Pernambuco, além do Distrito Federal, aprovaram suas respectivas leis de organização administrativa dos recursos hídricos, até mesmo se antecipando à Lei nº 9.433/97, como foi o caso de São Paulo, Ceará e Paraíba (MMA, 2002).

c) Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997

Desde o ano de promulgação do Código das Águas até a lei nº 9.433, houve uma grande lacuna no que diz respeito a desconforto hídrico, contaminação das águas e conflitos de uso, o que agravou o desperdício e a falta de conservação dos mananciais brasileiros durante esse período.

A Lei nº 9.433 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, procurando organizar o setor de planejamento e gestão desses recursos, no âmbito nacional (Brasil, 1997).

No Capítulo IV – Dos Instrumentos, são citados como instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, essenciais à boa gestão desses últimos: os planos de recursos hídricos; o enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes; a outorga de direitos de uso das águas; a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e o Sistema de Informações de Recursos Hídricos.

A outorga, um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, tem a finalidade de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (Art. 11). Apesar de enfatizar os aspectos qualitativos da água na sua própria definição, a outorga não considera o processo de autodepuração.

Segundo o Art. 12, estão sujeitos a outorga:

- Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final;
- Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Aproveitamento de potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

Apenas são dispensados de outorga o suprimento de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural, e as derivações, captações, lançamentos e acumulações de volumes de água considerados insignificantes (Art. 12).

A responsabilidade da outorga cabe ao detentor da dominialidade de suas águas: a União, os Estados ou o Distrito Federal, podendo o primeiro conceder aos demais esse poder (Art. 14). O órgão gestor passa a ter um papel de coordenador executivo, devendo ser neutro em relação aos múltiplos setores de usuários e à sociedade da região (Yassuda, 1993).

Cabe ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos, órgão consultivo e deliberativo maior do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, entre outras atribuições, o estabelecimento de critérios gerais de outorga e a decisão, em última instância administrativa, sobre conflitos de uso.

O grande desafio do sistema em implantação é a articulação entre os dois níveis jurisdicionais: os Estados e a União (Lanna, 2000). Embora a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento facilite a realização do balanço hídrico, essa implantação é dificultada pela dominialidade das águas, caracterizada pela Constituição Federal de 1988, principalmente devido à possibilidade de perda de autonomia e independência por parte dos órgãos estaduais. Além disso, as leis dos Estados muitas vezes são diferentes entre si, embora devam seguir as diretrizes da lei federal.

d) Projeto de Lei nº 1.616 / 99

O Projeto de Lei nº 1.616 dispõe sobre a gestão administrativa e a organização institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, fornecendo as diretrizes para a outorga do direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o regime de racionamento e a fixação de normas gerais para a criação e a operação das Agências de Bacia (Brasil, 1999).

Há todo um capítulo destinado ao instrumento de outorga: Capítulo II – Da Sistemática de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos.

É dado um grande avanço com relação à outorga para fins de lançamento de poluentes, introduzindo o conceito de vazão de diluição. Essa outorga passa a ser definida não mais como função da concentração máxima de poluentes no efluente, mas como função da vazão do curso d'água que é apropriada para diluição do efluente até a concentração limite da classe em que o corpo d'água estiver enquadrado (Art. 13).

De acordo com o Art. 16, a vazão outorgável “*poderá variar sazonalmente, em função das características hidrológicas*”. Assim, verifica-se que o projeto de lei também

procura considerar as variabilidades climáticas de cada região, para que, em períodos mais úmidos, seja disponibilizado um maior volume de água.

2.6.2 Leis e Decretos do Estado da Paraíba

a) Lei Estadual nº 6.308, de 2 de julho de 1996

A Lei nº 6.308 institui a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba e o Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, visando o uso integrado e racional destes recursos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do Estado (Paraíba, 1996).

A outorga, como um dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos, é contemplada na Seção I, do Capítulo V – Da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos. De acordo com o Art. 15, está sujeito a outorga “*qualquer intervenção nos cursos d’água ou aquífero que implique na utilização dos recursos hídricos, a execução de obras ou serviços que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade dos mesmos*”. Apenas a construção de pequenos barramentos ou a execução de pequenos poços, considerados insignificantes perante regulamentação em vigor, estão dispensados de autorização.

Nesta lei, o aspecto qualitativo também é destacado no Art. 14, devendo o Estado contemplar nos seus planos e programas o tratamento dos efluentes antes de serem lançados nos corpos d’água. Além disso, um dos princípios básicos da Política Estadual de Recursos Hídricos é a consideração dos aspectos quantitativos e qualitativos no gerenciamento dos recursos hídricos.

b) Lei Estadual nº 6.544, de 20 de outubro de 1997

Através da lei nº 6.544, é criada a Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais - SEMARH, definida como órgão gestor, do primeiro nível hierárquico da Administração Direta do Poder Executivo, de natureza substantiva, com a finalidade de planejar, coordenar, supervisionar e executar as ações governamentais relacionadas com a identificação, aproveitamento, exploração e utilização dos recursos hídricos, minerais e meio ambiente, visando ao fortalecimento da economia do Estado da Paraíba e à melhoria da qualidade de vida de sua população (Paraíba, 1997b).

c) Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997

O Decreto Estadual nº 19.260 regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos dominiais do Estado da Paraíba (Paraíba, 1997a).

Segundo o decreto, fica a cargo da SEMARH estabelecer os princípios programáticos para a fiscalização e controle da outorga, bem como a concessão da outorga.

No Art. 12, fica estabelecida a seguinte ordem de prioridade:

- 1) Abastecimento doméstico;
- 2) Abastecimento coletivo especial, compreendendo hospitais, quartéis, presídios, colégios, etc;
- 3) Outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial, compreendendo abastecimento de entidades públicas, do comércio e da indústria, ligados à rede urbana;
- 4) Captação direta para fins industriais, comerciais ou prestação de serviços;
- 5) Captação direta ou por infra-estrutura de abastecimento para fins agrícolas;
- 6) Outros usos permitidos pela legislação em vigor.

No Estado da Paraíba, podem ser emitidos três tipos de outorga: cessão de uso, autorização de uso e concessão de uso. A primeira é conferida apenas a órgão ou entidade pública. A autorização confere à pessoa física ou jurídica o direito de uso de caráter unilateral precário das águas, sob condições explicitadas. A concessão de uso já possui um caráter contratual, segundo o qual, a pessoa física ou jurídica, pode explorar os recursos hídricos sob condições específicas.

Entretanto, qualquer tipo de outorga deve ser emitido de acordo com as disponibilidades hídricas da bacia que, segundo o Art. 26, para as águas superficiais, não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia.

d) Lei Estadual nº 7.033, de 29 de novembro de 2001

A Lei Estadual nº 7.033 cria a “*Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba – AAGISA, na forma jurídica de uma Autarquia sob Regime Especial, com autonomia administrativa e financeira*” (Paraíba, 2001). A esse órgão, vinculado à estrutura da SEMARH, compete a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e a regulação e fiscalização das atividades de irrigação e saneamento no território do Estado da Paraíba, em consonância com as supracitadas leis nº 6.308 e nº 6.544.

De acordo com o artigo 2º, Parágrafo 1º, a AAGISA fica autorizada a, dentre outras funções, “*receber delegações de atribuições para a execução de atividades relacionadas com a gestão das águas de domínio da União que lhe seja transferida na forma da lei*”.

Dessa forma, cabe a AAGISA analisar e instruir os processos de outorga e licença para execução de obras hídricas (Silva et al., 2002). Entretanto, atualmente a SEMARH se encarrega da concessão de outorgas, devido à AAGISA ainda não estar no exercício pleno de suas atribuições.

O processo de concessão de outorga passa pela Assessoria Técnica e Equipe Técnica da SEMARH, obedecendo ao seguinte procedimento (op cit.):

- i. A Equipe Técnica analisa os documentos e projetos, realiza visita técnica e elabora o parecer técnico;
- ii. A Assessoria Técnica examina, confere e encaminha o pedido de outorga ao Secretário da SEMARH;
- iii. O Secretário expede licença/outorga ou indefere o processo e encaminha à Assessoria Técnica e, posteriormente, à Equipe Técnica;
- iv. A Equipe Técnica entrega o documento de licença/outorga ou informa o indeferimento do pedido, providenciando o arquivamento do processo.

2.7 CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL

A definição adequada do limite superior de utilização de um curso d'água (vazão máxima outorgável) é um dos principais entraves à implementação de um sistema de outorga.

Os critérios para definição da vazão máxima outorgável podem ser classificados em estáticos e dinâmicos (Ribeiro, 2000).

2.7.1 Critérios Estáticos

Utilizando os critérios estáticos, obtém-se valores fixos de vazões a serem outorgadas, com base em séries históricas de vazões. As vazões a serem outorgadas aumentam no sentido de montante para jusante, devido ao incremento da área de drenagem, embora para os usuários localizados num mesmo ponto de captação a disponibilidade hídrica seja a mesma. A estes valores de vazão podem ser adicionadas as vazões remanescentes no curso d'água, após descontadas as demandas de montante.

Uma prática comum é estabelecer um valor de vazão relacionado a uma situação crítica de abastecimento (op cit). Essa vazão, denominada vazão de referência, ou fração

desta, é então aceita como vazão máxima outorgável, que pode ser, entre outros valores, a média das vazões de 7 dias consecutivos de estiagem, com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), ou a vazão cuja probabilidade de superação é de 90% (Q_{90}).

A vazão de referência ainda pode ser dada, por exemplo, como um valor único para todos os meses do ano e todos os anos, ou como 12 valores de vazão, um para cada mês do ano, para todos os anos, tornando a implementação e a fiscalização mais complexas que no caso anterior.

Medeiros e Naghettini (2001) propõem e avaliam a utilização de um fator de correção anual para a vazão referencial, baseado numa relação entre as vazões observadas no início do ano e no início do período de estiagem, resultando em valores superiores de vazão a ser outorgada para anos chuvosos.

A vantagem de se utilizar vazões de referência é o controle da probabilidade de falhas de suprimento. Por exemplo, ao ser outorgada a vazão Q_{90} sabe-se, a priori, que em 90% do tempo os valores outorgados poderão ser supridos. No entanto, limita-se bastante a expansão dos sistemas de uso da água na maior parte do tempo, não permitindo que os excessos hídricos sobre a vazão de referência sejam utilizados. Essa sensação de desperdício provoca descontentamentos por parte dos usuários, como ocorreu na Bahia (Silva, 1997), onde a $Q_{7,10}$ era usada como vazão de referência. O fato é que essa situação crítica ocorrerá apenas durante 7 dias, que acontecem, em média, uma vez a cada 10 anos, podendo os restantes 358 dias desse ano crítico e os outros 9 anos terem o suprimento aumentado.

Nas legislações estaduais que contemplam a vazão máxima outorgável, o critério da vazão de referência tem sido o critério adotado, possivelmente devido à facilidade de adoção, operacionalização e fiscalização.

2.7.2 Critérios Dinâmicos

Os critérios dinâmicos procuram otimizar o uso da água, de forma que, em períodos de maior disponibilidade hídrica, os usuários possam usufruir uma quantidade de água além de qualquer vazão referencial. Assim, a vazão máxima outorgável varia de acordo com a dinâmica hidrológica e meteorológica da bacia, sendo usada a própria vazão natural do rio, na maioria das vezes.

Esse método apresenta a vantagem econômica e social de permitir um maior uso das disponibilidades hídricas nos períodos úmidos, mas, em contrapartida, são muitas as dificuldades de ordem institucional, burocrática e financeira de implementação para o poder público, exigindo um monitoramento quantitativo mais frequente durante períodos de

escassez hídrica, quando alguns usos outorgados não poderão ser supridos. A simulação em tempo real para fornecer subsídios para a tomada de decisão e a fiscalização da obediência dessas decisões também se constituem num entrave à sua aplicação.

Outra desvantagem é a variação da vazão outorgável com as condições da bacia, que transmite uma certa insegurança àquele usuário que precisa planejar sua atividade produtiva. Uma forma de resolver essa questão é tornar a vazão total outorgável constituída por uma parte fixa, a vazão mínima outorgável, e outra variável, a vazão condicionada (Ribeiro, 2000).

Dentre os critérios dinâmicos, podemos citar o critério da vazão excedente, o critério da garantia de suprimento e o critério da priorização da demanda pela expressão econômica (Lanna, 1999), que são descritos sucintamente a seguir.

a) Critério da Vazão Excedente

A cada natureza de demanda é atribuída uma prioridade, segundo as normas legais e as determinações do órgão gestor ou deliberações de colegiados com tais atribuições.

A base para a tomada de decisão é a vazão natural, que passará a representar a disponibilidade hídrica. O princípio de funcionamento do critério é cotizar a vazão excedente restante do atendimento às demandas prioritárias entre aqueles de prioridade inferior. Dessa forma, falhas de atendimento a um determinado nível de usuário ocorrem apenas quando todos os usuários de prioridade inferior não têm suas demandas atendidas.

Logo, os benefícios derivados da água são incrementados, sem afetar, em termos quantitativos, o suprimento às demandas prioritárias (Lanna, 1999).

b) Critério da Garantia de Suprimento

Da mesma forma que o critério anterior, são atribuídas prioridades às demandas. As vazões que podem ser outorgadas, com determinados níveis de garantia, são estabelecidas com base no estudo do regime de vazões do curso d'água em questão. Determinados os montantes para garantias decrescentes, são definidas as demandas com maiores prioridades de suprimento, relativas às vazões com maiores garantias. Assim, é fixada a quantidade de falhas destinada para cada categoria de uso da água, e não a vazão a ser outorgada.

Para evitar a busca desenfreada pelas demandas com maiores garantias, as demandas mais relevantes ou mais sensíveis devem ser definidas por determinação do órgão outorgante ou do plano de bacia. A outorga apenas será concedida quando forem verificados seus reflexos nas garantias de suprimento dos demais usuários já instalados.

O usuário deve ser informado, no ato da outorga, da sua prioridade de uso, com que prioridade sua demanda não será totalmente suprida e outras informações que antecipem os riscos de não suprimento (op cit.).

c) Critério da Outorga pela Expressão Econômica da Demanda

O critério da priorização das demandas por sua expressão econômica é importante instrumento em regiões nas quais a expressão econômica do uso da água é preponderante, uma vez que torna prioritários os usos que geram maiores rendas. Entretanto, apresenta a desvantagem de partir da suposição de que os aspectos sociais e ambientais já tenham sido incluídos nos montantes de outorga mais prioritários.

2.8 OUTORGA QUANTITATIVA

Definida a vazão máxima outorgável segundo o critério de determinação escolhido, a outorga quantitativa da água pode ser representada matematicamente da seguinte forma (Ribeiro, 2000):

$$\sum_{i,j} (\alpha_i \cdot Q_{\text{capta}_{i,j}}) \leq Q_{\text{max outorgavel}_j} \quad (2.1)$$

Com:

$$\alpha_i \cdot Q_{\text{capta}_{i,j}} \leq Q_{\text{outorgada}_{i,j}} \quad (2.2)$$

Onde: $Q_{\text{capta}_{i,j}}$ é a vazão de captação para o usuário i na seção j ;

α_i é o coeficiente de uso da vazão de captação do usuário i , que pode ser dado por $(1 - \tau_{i,j})$, sendo $\tau_{i,j}$ a taxa de retorno do usuário i na seção j ;

$Q_{\text{max outorgavel}_j}$ é a vazão máxima outorgável para a captação na seção j ;

$Q_{\text{outorgada}_{i,j}}$ é a vazão outorgada para captação do usuário i na seção j .

2.9 QUALIDADE DA ÁGUA: CONCEITOS BÁSICOS E INTRODUÇÃO NO PROCESSO DE OUTORGA

A integração dos aspectos quantitativos e qualitativos no planejamento e operação de sistemas de aproveitamento de recursos hídricos de usos múltiplos é um dos desafios dos planejadores de recursos hídricos. A grande dificuldade nesse processo está mais na prática do

que na teoria, uma vez que essa integração é raramente alcançada nos sistemas reais de recursos hídricos (Azevedo et al., 1998).

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

2.9.1 Conceitos Básicos

Devido à capacidade dos cursos d’água de diluir poluentes e depurá-los, freqüentemente neles são lançados despejos industriais, domésticos e agrícolas, entre outros.

O conhecimento e a quantificação da capacidade depurativa de um curso d’água é importante para que o rio possa ser usado na assimilação dos poluentes, sem se comprometer, do ponto de vista ambiental, e para impedir que seja lançada uma quantidade de despejos acima da sua capacidade. Dessa forma, torna-se indispensável para a implementação da outorga contemplando a qualidade das águas o conhecimento da capacidade de assimilação e dos processos físicos e bioquímicos da autodepuração (Conejo, 1993).

Segundo Von Sperling (1996), o fenômeno da autodepuração é “*o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes*”.

a) Fontes de Poluição

Existem dois tipos de fontes de poluição num curso d’água (op. cit.): pontual e difusa. A poluição pontual ocorre quando os poluentes atingem o corpo d’água de forma concentrada em um dado local, enquanto na poluição difusa os poluentes chegam de forma distribuída ao corpo d’água, ao longo de parte de sua extensão.

Embora as formas de controle da poluição no Brasil atuem apenas sobre as fontes pontuais, também as fontes dispersas, como as atividades agrícolas e a lavagem de ruas, são responsáveis por grandes cargas de poluentes, contribuindo para a deterioração da qualidade ambiental dos seus recursos hídricos. Entretanto, nas condições brasileiras, ainda há muito a se fazer no que diz respeito ao controle da poluição pontual, para que se possa partir para o

controle das fontes difusas de poluição, como já ocorre nos países mais avançados nesse setor (Von Sperling, 1996).

b) Parâmetros de Qualidade da Água

Até o final do século XIX, a qualidade da água era caracterizada apenas de forma descritiva, sem valores associados a tal propriedade (Porto, 1991). Somente no início do século passado é que os padrões de qualidade da água foram buscados, com o objetivo de controlar as doenças de veiculação hídrica.

A qualidade das águas pode ser caracterizada por três fatores (Leal, 1997): estéticos (cor, odor, turbidez, sabor), fisiológicos (toxicidade, patogenicidade, salinidade) e ecológicos (pH, oxigênio dissolvido, produtividade). Os fatores estéticos afetam quase exclusivamente os usos humanos, os fisiológicos estão relacionados com a saúde e os ecológicos com a proteção à vida e à reprodução dos organismos aquáticos. Esses fatores, por sua vez, podem ser caracterizados através dos parâmetros de qualidade da água.

Os parâmetros de qualidade da água são componentes ou substâncias nela existentes utilizados para avaliar sua qualidade (Tucci, 1998), podendo ser classificados em:

- Parâmetros físicos: Afetam os sentidos humanos, como a temperatura da água, densidade, turbidez, odor e cor.
- Parâmetros químicos: Descrevem as modificações químicas na água, resultado de ciclos e processos, como o oxigênio dissolvido (OD), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o nitrogênio e o fósforo.
- Parâmetros biológicos: Descrevem as modificações biológicas na água. Têm-se como indicadores biológicos o indicador bacteriológico e o indicador aquático.

Os parâmetros de qualidade da água, conforme a ocorrência de transformações de suas quantidades nos cursos d'água, podem ainda ser classificados em conservativos e não-conservativos. Os parâmetros considerados conservativos são aqueles que somente sofrem alterações de sua concentração espacial e temporal por processos físicos de transporte, enquanto os não-conservativos têm modificadas as suas concentrações também devido à reações por processos químicos e biológicos internos. Os sulfatos, cloretos e areias são exemplos de parâmetros conservativos, enquanto a DBO, o OD e as algas são exemplos de parâmetros não conservativos, ou seja, que são depurados ao longo do curso d'água.

Geralmente, a quantificação desses parâmetros é expressa em termos de carga, dada em massa por unidade de tempo.

Segundo Campos et al. (2002), a escolha apenas da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para representar a qualidade da água é justificada pelas seguintes razões:

- Escolhendo-se somente um parâmetro de poluição, elimina-se a complexidade inerente à caracterização e quantificação dos efluentes, que impõem o problema da escolha de parâmetros, da sua agregação e do sistema de ponderação que os hierarquiza;
- O parâmetro DBO é representativo de esgotos domésticos e um dos elementos mais presentes nos diferentes tipos de efluente industrial;
- A DBO é um parâmetro de fácil mensuração, quando comparado aos outros métodos de quantificação da matéria orgânica num corpo d'água.

Como neste estudo o parâmetro utilizado para caracterizar a qualidade da água é a DBO, no item seguinte é feita uma descrição sucinta desse parâmetro.

c) Demanda Bioquímica de Oxigênio

A determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos métodos indiretos de quantificação da matéria orgânica de águas residuárias, através da medição do consumo de oxigênio que um volume padronizado de esgoto exerce em um período de tempo pré-fixado (Von Sperling, 1996). Segundo o referido autor, “*a DBO retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea*”.

Quando ocorre o lançamento de carga orgânica no curso d'água, há uma elevação da quantidade de matéria orgânica do meio aquático, com o conseqüente aumento brusco da DBO. Por ser a DBO um parâmetro não-conservativo, sua concentração tende a decrescer com a distância do lançamento e o tempo, dependendo das condições de autodepuração do rio.

Para esgotos domésticos típicos, convencionou-se a análise do consumo de DBO no quinto dia, a uma temperatura de 20° C, uma vez que a estabilização completa (DBO última ou DBO_u) demora, em termos práticos, vários dias, e temperaturas diferentes interferem no metabolismo bacteriano (op cit.). Essa DBO é a chamada DBO padrão, expressa por DBO₅²⁰, mas sendo referida apenas como DBO daqui por diante.

No processo de estabilização da matéria orgânica, os esgotos domésticos possuem uma DBO de cerca de 300 mg/l, isto é, 1 litro de esgoto consome aproximadamente 300 mg

de oxigênio, em 5 dias. Em termos de carga per capita, a contribuição geralmente usada de DBO de cada indivíduo por unidade de tempo é 54g/hab.dia.

Assim, como a carga afluyente é a quantidade de poluente por unidade de tempo, para os esgotos domésticos, essa carga pode ser dada por:

$$K_{dom} = \frac{pop.K_{per\ capita}}{1000} \quad (2.3)$$

Onde: K_{dom} é a carga afluyente de DBO proveniente dos esgotos domésticos, em kg/dia;

pop é o número de habitantes da localidade que contribui para os esgotos;

$K_{per\ capita}$ é a contribuição de DBO, por habitante, para os esgotos domésticos, em g/hab.dia.

Além das vantagens operacionais e de implementação citadas anteriormente, o emprego do teste da DBO, em comparação com os outros testes de determinação de matéria orgânica, apresenta as seguintes vantagens (Von Sperling, 1996):

- Fornece uma indicação aproximada da fração biodegradável do despejo;
- Indica a taxa de degradação do despejo;
- Mostra a taxa de consumo de oxigênio em função do tempo;
- Quantifica, de forma aproximada, a quantidade de oxigênio requerido para a estabilização biológica da matéria orgânica presente.

Entretanto, existem algumas limitações para seu emprego. Quando os microorganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica não estão adaptados ao despejo, a DBO pode apresentar baixos valores, não sendo um bom indicador, e metais pesados ou outras substâncias podem matar ou inibir esses microorganismos. Além disso, há necessidade da inibição dos organismos responsáveis pela oxidação da amônia, para evitar que o consumo de oxigênio para a nitrificação interfira com o da demanda carbonácea (Von Sperling, 1996).

Progressão Temporal da DBO

A poluição de um corpo d'água por matéria orgânica oriunda dos esgotos causa uma queda nos níveis de oxigênio dissolvido, devido à respiração dos microorganismos envolvidos na depuração (op cit.). Esse decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido está associado à

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), cujas concentrações também tendem a decrescer ao longo do tempo.

De acordo com Von Sperling (1996), o conceito de DBO pode ser entendido por dois ângulos distintos:

- DBO remanescente: concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um dado instante;
- DBO exercida: oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até este instante.

Na Figura 2.1 é representada a progressão da DBO no decorrer do tempo, segundo os dois conceitos citados anteriormente.

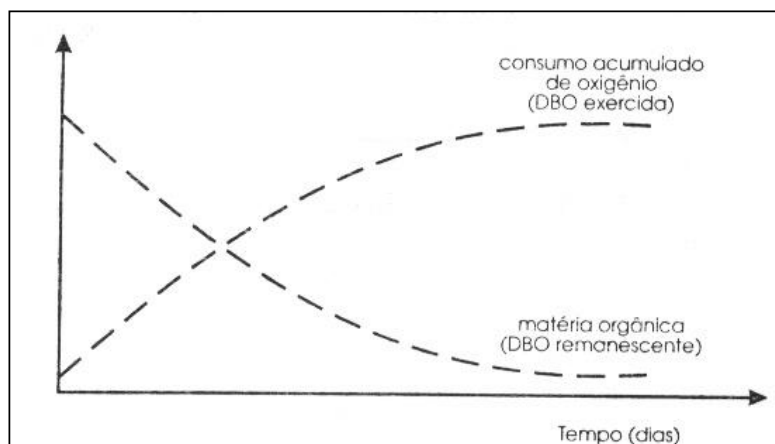


FIGURA 2.1. Progressão temporal da oxidação da matéria orgânica: DBO exercida e DBO remanescente ao longo do tempo.
FONTE: Von Sperling (1996)

No intervalo de tempo igual a zero, o oxigênio consumido é nulo, enquanto a matéria orgânica se apresenta em sua concentração total. O processo de estabilização da matéria orgânica faz com que a matéria orgânica remanescente decresça. Dessa forma, com o passar do tempo, a DBO remanescente se anula, devido à estabilização de praticamente toda a matéria orgânica, concomitantemente ao consumo de todo o oxigênio (DBO totalmente exercida).

Quanto à cinética de reação da matéria orgânica remanescente, a taxa de mudança da concentração da DBO remanescente é proporcional à primeira potência de sua concentração (Von Sperling, 1996). Em outras palavras, a taxa de oxidação da matéria orgânica é proporcional à matéria orgânica ainda remanescente, em um instante qualquer. A progressão da DBO remanescente pode ser expressa pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{dC}{dt} = -K_1 \cdot C \quad (2.4)$$

Onde: C é a concentração de DBO remanescente em t (mg/l);

t é o tempo (dia);

K_1 é o coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}).

Integrando a Equação (2.4) entre os limites $C=C_0$ e $C=C_t$, obtém-se:

$$C = C_0 \cdot e^{-K_1 \cdot t} \quad (2.5)$$

Onde: C_0 é a DBO remanescente em $t=0$ (mg/l)

A quantificação da DBO exercida (y) pode ser facilmente obtida subtraindo a DBO remanescente no tempo t da DBO remanescente em $t = 0$:

$$y = C_0 - C \quad (2.6)$$

Coeficiente de Desoxigenação K_1

O coeficiente de desoxigenação K_1 é de fundamental importância para a modelagem do oxigênio dissolvido, sendo dependente das características da matéria orgânica, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras.

A Tabela 2.1 apresenta alguns valores médios de K_1 .

TABELA 2.1. Valores típicos de K_1 (base e, 20° C).

Origem	K_1 (dia^{-1})
<i>Água residuária concentrada</i>	0,35 – 0,45
<i>Água residuária de baixa concentração</i>	0,30 – 0,40
<i>Efluente primário</i>	0,30 – 0,40
<i>Efluente secundário</i>	0,12 – 0,24
<i>Rios com águas limpas</i>	0,09 – 0,21
<i>Água para abastecimento público</i>	< 0,12

FONTE: Fair et al. (1973) e Arceivala (1981) apud Von Sperling (1996).

Dentre os processos matemáticos e estatísticos empregados na determinação de K_1 , caso se disponha de amostras de água para análise, os mais conhecidos são (Von Sperling, 1996): Método dos Mínimos Quadrados; Método da Inclinação; Método dos Momentos; Método de Thomas; e Método da Diferença de Logaritmos.

A descrição completa e a comparação desses métodos são efetuadas em Von Sperling (1983; 1985a) apud Von Sperling (1996).

Devido à grande influência da temperatura no metabolismo microbiano, esta também afeta as taxas de estabilização da matéria orgânica. A relação empírica entre temperatura e taxa de desoxigenação pode ser expressa da seguinte forma:

$$K_{1_T} = K_{1_{20}} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (2.7)$$

Onde: K_{1_T} é o K_1 a uma temperatura T qualquer (dia^{-1});

$K_{1_{20}}$ é o K_1 a uma temperatura $T = 20$ °C (dia^{-1});

T é a temperatura do líquido em °C;

θ é o coeficiente de temperatura, cujo valor geralmente empregado é 1,047.

2.9.2 Enquadramento dos Corpos d'Água

A Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 18 de junho de 1986, estabelece os requisitos relacionados aos aspectos físicos, químicos, biológicos e toxicológicos da água destinada a determinado uso (Brasil, 1986). Ela apresenta limites de concentração a serem obedecidos por diversos parâmetros, em cada classe de enquadramento. Assim, o enquadramento estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um segmento do corpo d'água, ao longo do tempo.

Na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes, é destacado como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, traduzindo as metas de qualidade para a bacia. Dessa forma, o enquadramento, além de ser importante para o estabelecimento de um controle sobre os níveis de qualidade das águas dos mananciais, funciona como um elo de ligação entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão do meio ambiente, uma vez que a Lei nº 9.433/97 é baseada na Resolução CONAMA nº20/86.

No Brasil, as águas foram divididas, segundo a Resolução CONAMA nº 20, em: doces (salinidade $\leq 0,5\%$), salobras (salinidade entre 0,5% e 30%) e salinas (salinidade $\geq 30\%$). Nove classes de qualidade foram criadas, em função dos usos preponderantes, quais sejam:

- Águas doces: Classes Especial, 1, 2, 3 e 4;
- Águas salinas: Classes 5 e 6;
- Águas salobras: Classes 7 e 8.

Um mesmo corpo d'água pode ter diversas classificações ao longo do seu curso, devendo estar sujeita a revisões periódicas, conforme evolua a situação da bacia.

Na resolução, os padrões de qualidade são estabelecidos tanto para o corpo receptor quanto para o lançamento dos efluentes. Porém, os padrões de lançamento foram estabelecidos principalmente por questões práticas, uma vez que o controle, a fiscalização e o monitoramento são mais fáceis nas descargas do que no corpo d'água, revelando seu objetivo real de preservação da qualidade do corpo d'água receptor (Von Sperling, 1996).

Os padrões de efluentes são normalmente fixos, sendo estabelecidos de acordo com o tipo de poluição (indústrias, esgotos domésticos, etc).

Fica estabelecido, em seu Art. 15, que os Estados podem adotar os mesmos padrões da resolução, complementá-los ou aplicar padrões ainda mais restritivos.

A classificação dos corpos d'água no Estado da Paraíba é estabelecida pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba (SUDEMA), através de diretrizes do Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SELAP), que abrangem todas as bacias em solo paraibano.

A Diretriz 201 – Classificação das Águas Interiores do Estado foi aprovada pelo Conselho de Proteção Ambiental (COPAM), pertencente à estrutura da SUDEMA, em 9 de março de 1988, estabelecendo a mesma classificação definida na Resolução CONAMA 20/86 (Paraíba, 1988a).

De acordo com a diretriz DZ 202 – Divisão do Estado da Paraíba em Bacias Hidrográficas, o Estado fica dividido em 7 bacias hidrográficas, quais sejam (Paraíba, 1988b): bacia do rio Piranhas, bacia do rio Paraíba, bacia do rio Mamanguape, bacia do rio Curimataú, bacia do Litoral e Zona da Mata (que inclui a bacia do rio Gramame), bacia do rio Jacu e bacia do rio Trairi. Correspondendo a cada uma dessas bacias, respectivamente, as DZs 204, 205, 206, 207, 208, 209 e 210 enquadram seus cursos d'água, de acordo com a classificação estabelecida pela DZ 201.

2.9.3 Qualidade da Água no Processo de Outorga: Vazão de Diluição

A consideração da qualidade da água no processo de outorga, abordada pela Lei Federal nº 9.433/97, mediante a outorga para lançamento de efluentes nos cursos d'água, representou um grande avanço em termos de recursos hídricos, vindo a reforçar ainda mais o enquadramento e o licenciamento ambiental (Ribeiro, 2000). Porém, o padrão de lançamento em termos de concentração trata de forma similar os grandes (alta vazão) e os pequenos usuários (baixa vazão). Os parâmetros de qualidade são dependentes da vazão, pois, quando a vazão diminui, suas concentrações aumentam, por isso tem sido adotado o conceito de vazão de diluição.

A vazão de diluição é a vazão necessária para diluir o respectivo lançamento de resíduos no corpo d'água receptor, obedecendo aos limites máximos de concentração permitidos. Assim, a outorga de diluição transforma a outorga para lançamento em outorga para derivação, com a vazão de diluição se tornando indisponível para qualquer outro uso.

Embora o conceito de vazão de diluição já tenha sido empregado no Projeto de Lei Federal nº 1616/99 para retificar essa lacuna deixada na Lei Federal nº 9.433, apenas com a aprovação da Resolução nº 16 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), em 8 de maio de 2001, é que este conceito foi legalmente contemplado. De acordo com a referida resolução, a outorga se dará por meio da *“quantidade de água necessária para a diluição da carga de poluente, que pode variar ao longo do prazo de validade da outorga, com base nos padrões de qualidade da água correspondentes à classe de enquadramento do respectivo corpo receptor e/ou em critérios específicos definidos no correspondente plano de recursos hídricos ou pelos órgãos competentes”* (Brasil, 2001). Além disso, a resolução ainda estabelece que as vazões outorgadas para diluição de efluentes devem considerar a capacidade de autodepuração do corpo receptor.

A consideração da qualidade da água no processo de outorga, através da vazão de diluição, apresenta vantagens tanto na sua implementação, quanto na operacionalização, quais sejam (Camara e Lanna, 2002):

- Os aspectos quantitativos e qualitativos da água são contabilizados nos mesmos termos, simplificando o processo de fiscalização e entendimento;
- Todo usuário, independente de uso para captação ou diluição, terá sua demanda fixada em termos quantitativos;
- Permite o uso da vazão máxima outorgável para todos os casos de outorga;
- Explicita que a retirada de água para diluição reduz os volumes disponíveis;
- O processo de outorga em conjunto com o enquadramento mostra ao usuário a necessidade de obediência das restrições determinadas pela legislação ambiental.

As principais desvantagens desse procedimento estão na dificuldade de se calcular a vazão para diluir os efluentes e na determinação da capacidade assimilativa dos rios. Além disso, ignora que efeitos distintos ocorrem quando existe escassez de água quantitativa e qualitativa.

Representação Matemática da Vazão de Diluição

A vazão de diluição do poluente k requerida pelo usuário i , no ponto de lançamento j , respeitando a classe do corpo d'água receptor, pode ser dada pela equação (Ribeiro, 2000):

$$Qdilu_{i,j,k} = Cefl_{i,j,k} \cdot \frac{Qefl_{i,j,k}}{Cenq_{j,k}} \quad (2.8)$$

Onde: $Qdilu_{i,j,k}$ é a vazão de diluição para o parâmetro k requisitada pelo usuário i , na seção j ;

$Qefl_{i,j,k}$ é a vazão de lançamento de efluente pelo usuário i , na seção j , correspondente ao parâmetro k ;

$Cefl_{i,j,k}$ é a concentração do parâmetro k lançada pelo usuário i , na seção j ;

$Cenq_{j,k}$ é a concentração máxima permitida pelo enquadramento para o parâmetro k , na seção j do curso d'água.

Sendo $Cg_{i,j,k}$ a carga lançada pelo usuário i , na seção j , correspondente ao parâmetro k , a vazão de diluição ainda pode ser calculada da seguinte forma:

$$Qdilu_{i,j,k} = \frac{Cg_{i,j,k}}{Cenq_{j,k}} \quad (2.9)$$

Como a mesma água do curso d'água pode ser usada para diluir os parâmetros k que serão lançados, a vazão de diluição pode ser considerada como a maior entre as vazões de diluição calculadas para os k parâmetros (op cit.).

A desvantagem do cálculo da vazão de diluição pelas Equações (2.8) ou (2.9) é o fato de partirem da premissa de que a concentração do parâmetro k na seção j , antes do lançamento dos poluentes, é nula, ou seja, não considera a concentração natural do parâmetro k e/ou decorrente de lançamentos a montante da seção j (visão pontual do problema).

2.9.4 Outorga Quantitativa e Qualitativa

A representação matemática do processo de outorga conjunto para captação e diluição é similar ao da outorga quantitativa, apenas sendo acrescentado o termo correspondente à vazão utilizada para diluição de efluentes:

$$\sum_{i,j} (\alpha_i \cdot Qcapta_{i,j} + \beta_k \cdot Qdilu_{i,j,k}) \leq Q \text{ max outorgavel total}_j \quad (2.10)$$

Com:

$$\alpha_i \cdot Qcapta_{i,j} + \beta_k \cdot Qdilu_{i,j,k} \leq Qoutorgada \text{ total}_{i,j} \quad (2.11)$$

Onde: β_k é o coeficiente de uso da vazão de diluição referente ao parâmetro k ;
 $Q_{max\ outorgavel\ total_j}$ é a soma da vazão máxima outorgável para a captação com a vazão máxima outorgável para diluição na seção j ;
 $Q_{outorgada\ total_{i,j}}$ é a soma da vazão outorgada para captação e para diluição para o usuário i na seção j .

O coeficiente β_k depende do tipo de parâmetro de qualidade da água considerado (oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, etc). Caso o parâmetro k seja conservativo, a vazão por ele requerida fica indisponibilizada para os trechos a jusante, assim $\beta_k = 1$. Mas, se o parâmetro não é conservativo, o coeficiente assume um valor inferior a 1, diminuindo com a distância ao ponto de lançamento j , dependendo da capacidade de depuração do curso d'água (Kelman, 1997).

Para a análise do β_k de parâmetros não conservativos, é necessário o conhecimento da capacidade de assimilação de poluentes do corpo d'água, bem como dos processos físicos e bioquímicos envolvidos. No caso da DBO, o coeficiente β_k deve estar relacionado com as Equações (2.5) e (2.6), uma vez que estas fornecem, respectivamente, a DBO remanescente no curso d'água e a parcela da concentração que foi depurada, podendo ser liberada para usos mais a jusante (DBO exercida).

Entretanto, inexistindo estudos e informações sobre a capacidade de depuração do curso d'água em questão, algumas hipóteses podem ser assumidas (Ribeiro, 2000):

- i. Há autodepuração do efluente no local de lançamento ou em torno do mesmo;
- ii. Não há autodepuração do efluente no ponto de lançamento, mas há nas seções a jusante;
- iii. Não há autodepuração do efluente ao longo do curso d'água.

2.10 SIMULAÇÃO DA OUTORGA QUANTITATIVA E QUALI-QUANTITATIVA

2.10.1 Abordagem Sistêmica dos Recursos Hídricos

A abordagem sistêmica dos recursos hídricos é o tratamento dos mesmos de forma abstrata, simplificada, de forma a reduzir sua real complexidade, considerando apenas as informações mais relevantes para a solução do problema que se deseja resolver (Lanna, 1997a).

Segundo o referido autor, a análise sistêmica de recursos hídricos é uma técnica usada para resolver problemas complexos de recursos hídricos, tratados de uma forma sistêmica, através de técnicas computacionais agregadas à modelagem matemática desses sistemas. Geralmente, essa análise é efetuada para dispor os recursos hídricos existentes, em seus aspectos quantitativos e qualitativos, de modo a atender aos padrões quantitativos e qualitativos exigidos pelas demandas.

2.10.2 Técnicas para Avaliação de Sistemas de Recursos Hídricos

A adoção de uma abordagem sistêmica dos recursos hídricos vem propiciando uma vasta gama de avaliações nesse setor da engenharia. A análise dos sistemas de recursos hídricos pode ter como objetivos (Lanna, 1997a): simular o comportamento da realidade que os sistemas representem (simulação) e otimizar os processos decisórios que atuam sobre essa realidade (otimização).

a) Simulação

Simulação é uma técnica de modelagem usada para representar de forma mais precisa o comportamento espacial e/ou temporal de um sistema, em um computador, representando suas principais características através de descrições matemáticas ou algébricas (Maass et al., 1962, apud Lima e Lanna, não publicado).

Como resultado, esses modelos apresentam o valor de uma função de retorno com uma configuração específica do sistema submetida a uma regra de operação, ou seja, avaliam um número finito de alternativas (op. cit.). Isso, algumas vezes, é um entrave a sua aplicação, pois necessita do estabelecimento de um grande número de conjuntos de configurações e políticas de operação que devem ser simulados para que se obtenha discernimento para uma tomada de decisão.

De acordo com os referidos autores, pela sua flexibilidade, simplicidade e versatilidade, os modelos de simulação têm sido os mais utilizados na avaliação de alternativas de sistemas de recursos hídricos. São poderosas ferramentas de apoio às decisões no âmbito do planejamento e operação dos sistemas, auxiliando no entendimento do comportamento de uma bacia hidrográfica e na previsão de condições diferentes das observadas.

Segundo Andreazza et al. (1994), a modelagem da área em estudo como um sistema, estabelecendo diferentes cenários para avaliação dos resultados, é uma forma eficiente de simular o comportamento esperado do ambiente diante das situações naturais e/ou antrópicas.

A desvantagem dessa técnica é a necessidade do exaustivo processo de tentativa e erro para definição da solução, uma vez que não permite aos usuários a restrição do espaço decisório (Azevedo et al., 1997). Além disso, a heterogeneidade física e dos processos envolvidos na bacia também se constitui num fator limitante, bem como a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos (Tucci, 1998). Entretanto, esses últimos fatores limitantes citados também se fazem presentes na técnica de otimização.

Modelos de Simulação

A aplicação de um modelo de simulação pode ser efetuada de duas formas (Azevedo et al., 1997): utilizando um modelo geral existente para sistemas similares; e desenvolvendo ou adaptando um modelo específico para o sistema. Na tabela 2.2, são apresentadas algumas vantagens e desvantagens das referidas alternativas.

TABELA 2.2. Vantagens e desvantagens das alternativas de formulação do modelo de simulação.

Alternativa	Vantagens	Desvantagens
<i>Modelo geral</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilidade na alteração de políticas de operação ou configurações dos componentes do sistema; ▪ Existência de suportes para interface de entrada de dados e análise dos resultados; ▪ Possibilidade de introdução de modificações no modelo, quando possuir uma estrutura aberta para modificações pelo usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessidade de grandes recursos computacionais; ▪ Em alguns casos, necessidade de muitos elementos fictícios no sistema para o ajuste à sua estrutura; ▪ Exigência de tempo para o treinamento de uma equipe capaz de explorar seus recursos e contornar suas limitações.
<i>Modelo específico</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior eficiência que os modelos gerais; ▪ Exigência de um menor esforço de adaptação do sistema real ao sistema simulado; ▪ Maior rapidez e economia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor abrangência que os modelos gerais; ▪ Necessidade de tempo para o desenvolvimento do aplicativo, que nem sempre é disponível no estudo.

FONTE: Adaptado de Azevedo et al. (1997).

O HEC3, o HEC5, o WRAP, o SAGBAH, o DESERT e o AQUATOOLS são alguns exemplos de modelos generalizados de simulação para sistemas de recursos hídricos mais complexos (Lanna, 1997a).

Os modelos HEC3 e HEC5 são modelos gerais desenvolvidos pelo Hydrologic Engineering Center que diferem apenas pelo modelo HEC5 permitir, além da simulação de sistemas de reservatórios para abastecimento, a simulação para controle de enchentes.

O WRAP (*Water Rights Analysis Package*) é um modelo desenvolvido no Texas para simulação mensal de bacias ou regiões de múltiplas bacias, considerando os direitos de uso da água (Wurbs and Dunn, 1996).

O Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacia Hidrográfica – SAGBAH, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, é composto por um conjunto de programas, desenvolvidos para a plataforma DOS, em linguagem FORTRAN, e incorporando modelos matemáticos com diversas finalidades (Viegas Filho, 2000).

Atualmente o SAGBAH se encontra em processo de adaptação para o aproveitamento das vantagens oferecidas pelo crescente desenvolvimento dos computadores pessoais, pela Modelagem Orientada a Objetos e pelo ambiente operacional Windows®. Considerando esses avanços atuais, foram desenvolvidos os seguintes módulos: o CHUVAZ 2000, o MODHAC 2000, o CASCATA 2000 e o PROPAGAR 2000 (op cit.). Entretanto, o MODESTO, o REGHIDRO, o OTIMIZAR, o BALHIDRO e o SIMQUAL deverão ser objeto de desenvolvimento subsequente (op. cit.).

Devido às vantagens que oferece e à relativa familiaridade da autora com o seu uso, é usado neste trabalho o modelo PROPAGAR MOO, desenvolvido segundo a Modelagem Orientada a Objetos. A concepção básica e a dinâmica do modelo são mostradas mais adiante (item 2.11).

Incerteza no Futuro

Embora o processo decisório necessariamente se reporte às conseqüências futuras de uma decisão, o conhecimento que se tem é apenas do passado (Lanna, 1997a). Aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, necessários à determinação das disponibilidades hídricas, das demandas e da decisão a ser tomada, são variáveis no tempo e associados a incertezas de difícil quantificação.

Diante de tamanha complexidade, é comum em análise sistêmica considerar apenas a incerteza hidrológica, sendo as demais tratadas na formulação de diversos cenários para a simulação, aos quais incorporam-se projeções de demandas e decisões vinculadas aos fenômenos sociais, econômicos e ambientais.

A incerteza hidrológica pode ser abordada no processo decisório, de acordo com a maneira que sua aleatoriedade é inserida, de duas formas (Lanna, 1997a): explicitamente estocástica e implicitamente estocástica. Na primeira abordagem, modelos probabilísticos que descrevem a aleatoriedade no futuro são inseridos na formulação do processo decisório. Na abordagem implicitamente estocástica, supõe-se que os eventos hidrológicos futuros são conhecidos, sendo possíveis duas alternativas de uso dos dados hidrológicos: a série hidrológica disponível; e as séries sintéticas geradas da série disponível, através de modelos de simulação estocásticos.

A técnica de otimização é abordada no item seguinte apenas para efeito de complementação, uma vez que neste estudo é utilizado o modelo de simulação PROPAGAR MOO.

b) Otimização

Para a obtenção do melhor processo decisório, associado a uma função-objetivo, são necessárias técnicas de otimização. Dentre essas técnicas, pode-se citar a otimização por enumeração, a programação dinâmica, a programação linear e a programação não linear (Lanna, 1999).

As técnicas de otimização pesquisam uma política de operação ótima entre todas as alternativas possíveis, ou seja, uma política que minimize (ou maximize) a função de retorno para o sistema em análise, satisfazendo todas as restrições impostas (Lima e Lanna, não publicado).

Essas técnicas são empregadas quando a bacia em estudo é complexa, com um grande número de centros de demanda e reservatórios em cascata, sendo necessária a adoção de políticas operacionais as mais eficientes possíveis nesses reservatórios.

2.11 O MODELO PROPAGAR MOO

2.11.1 Concepção Básica

Dentre os módulos do SAGBAH existentes, o PROPAGAR é o modelo de simulação da propagação das vazões em uma bacia hidrográfica, submetida ou não a regras gerenciais e operacionais relacionadas ao suprimento de demandas hídricas e à operação de reservatórios (Viegas Filho, 2000).

A base do modelo de propagação de vazões é uma estrutura de rede hidrográfica sobre a qual são definidos pontos característicos ou pontos de controle (Tröger, 2002). Os pontos de controle, ou simplesmente PCs, referem-se a locais de captação ou de agrupamentos de captações, reservatórios, exutórios de rios importantes, postos fluviométricos e outros locais de interesse.

O modelo trata cada PC como um objeto, com características próprias, retratadas por atributos e métodos a ele aplicáveis. A composição do sistema é efetuada pela união desses PCs, através de segmentos que representam a rede de drenagem da bacia, o que possibilita a interação entre eles.

Cada PC pode estar submetido ao controle de um reservatório e suas afluições podem ser provenientes dos PCs à montante e, no mínimo, de uma sub-bacia incremental (oriunda da transformação chuva-vazão). Essa sub-bacia, por sua vez, pode contribuir para mais de um PC, desde que sejam adjacentes.

As demandas hídricas da bacia podem ser difusas (ligadas às sub-bacias) ou localizadas (ligadas aos PCs). Estas últimas são divididas em classes de demandas, sendo possível atribuir prioridades de atendimento em três níveis: primário, secundário e terciário.

No procedimento de propagação das vazões ao longo da bacia em cada intervalo de tempo, o modelo também faz uso de uma classificação hierárquica, mas só que dos PCs: Ordem 1, são os PCs que não recebem contribuição de nenhum outro; Ordem 2, aqueles que recebem contribuições de PCs de ordem 1; e assim sucessivamente, até que todos os PCs estejam classificados. Estabelecida esta hierarquização, o programa é capaz de calcular as afluições provenientes dos PCs de montante (menor hierarquia) ao se fazer a análise em um PC de ordem hierárquica superior.

As principais vantagens na utilização do PROPAGAR MOO são (Viegas Filho, 2000):

- Fácil visualização e composição do sistema, possibilitados pela interface como o editor gráfico da rede hidrográfica, através da Área de Projeto e da Barra de Ferramentas Hidrológicas;
- Controle total sobre os elementos constituintes da rede hidrográfica, através do Gerenciador de Projetos;
- Distinção entre demandas localizadas e difusas;
- Possibilidade de atribuição de prioridades às demandas;
- Definição, por parte do usuário, de diferentes Unidades de Consumo de Água (em função das demandas) e de Unidades de Demandas (característica da quantidade de consumidores);

- Definição do Fator de Conversão de Unidades para as demandas, permitindo a introdução de demandas com unidade volume/tempo distinta da utilizada pelo PROPAGAR, qual seja m³/s;
- Disponibilização dos resultados da simulação, para todos os PCs, na forma de arquivo ASCII e EXCEL 5.0, possibilitando ao usuário analisar os resultados da simulação fora do ambiente do programa, com os critérios de análise que desejar.

Além das vantagens citadas, o PROPAGAR MOO, através da linguagem Pascal Script, ainda permite a introdução de decisões gerenciais (Tröger, 2002), que são descritas mais adiante no item 2.11.3.

2.11.2 Dinâmica do Modelo

Conforme apresentado anteriormente, o PROPAGAR MOO tem por objetivo simular a propagação de vazões na bacia, de montante para jusante, ao longo do tempo, buscando suprir as demandas existentes, de acordo com as disponibilidades hídricas da bacia. Com esse intuito, é realizado o balanço hídrico em cada PC, a cada intervalo de tempo, considerando as afluições (das sub-bacias incrementais e dos PCs de montante) e as demandas a serem supridas (difusas e localizadas).

Caso o PC corresponda a um Ponto de Passagem, ou seja, um nó que não seja reservatório, a equação de propagação é (Viegas Filho, 2000):

$$X(t) = Q(t) - D(t) + R[D(t)] \quad (2.12)$$

Onde: $X(t)$ é a vazão defluente do PC, no intervalo de tempo t ;

$Q(t)$ é a vazão afluyente total, dada pela soma da contribuição das sub-bacias incrementais com a contribuição dos PCs de montante;

$D(t)$ é o total das demandas concentradas a serem supridas nesse PC;

$R[D(t)]$ são os retornos dos diversos usos que são supridos no PC.

Quando o PC em questão é um reservatório, a equação da propagação é a clássica equação de balanço hídrico em reservatório:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - D(t) + R[D(t)] - X(t) - E[S(t), S(t+1)] \quad (2.13)$$

Onde: $S(t)$ é o estado de armazenamento do reservatório no instante t ;
 $X(t)$, no caso de reservatórios, é a vazão defluente do reservatório, determinada com base em uma decisão gerencial estabelecida pelo usuário sobre a operação do reservatório;
 $E[S(t),S(t+1)]$ é a evaporação do reservatório subtraída da precipitação, calculada em função dos armazenamentos $S(t)$ e $S(t+1)$.

O atendimento e totalização das demandas difusas são efetuados no âmbito da própria sub-bacia na qual se inserem, quando houver água para tal. Desse modo, as vazões afluentes ao PC, resultantes da transformação chuva-vazão nas sub-bacias que o alimentam, em um determinado intervalo de tempo, já têm descontadas as demandas difusas por elas supridas (op cit.). A equação que representa essa operação é a seguinte:

$$Q_{sb}(t) = \sum_{Sbs} cc_i \cdot \left[QD_i(t) - \sum_j DD_j(t) \right] \quad (2.14)$$

Sendo:

$$DD_j(t) = FC \cdot UCA_j(t) \cdot UD_j(t) \cdot AREA_{SB} \cdot ED \cdot FI(t) \quad (2.15)$$

Onde: $Q_{sb}(t)$ é a vazão afluente total das sub-bacias contribuintes a um determinado PC (m^3/s), no intervalo de tempo t , já descontadas as demandas difusas;
 $QD_i(t)$ é a vazão resultante do processo de transformação chuva-vazão na sub-bacia i (m^3/s), durante o intervalo de tempo t ;
 $DD_j(t)$ é a demanda difusa j a ser atendida na sub-bacia i (m^3/s), durante o intervalo de tempo t ;
 cc_i é o coeficiente de contribuição da sub-bacia i para o PC considerado;
 $UCA_j(t)$ é a demanda j , em Unidades de Consumo de Água, no intervalo de tempo t ;
 FC é o fator de conversão de unidades da classe de demanda à qual a demanda pertence, transformando UCA para m^3/s ;
 $UD_j(t)$ é o número de unidades de demanda j que deverá ser atendido no intervalo de tempo t no PC, na sub-bacia;
 $AREA_{SB}$ é a área da sub-bacia;
 ED é a escala de desenvolvimento;
 $FI(t)$ é o fator de implantação.

As demandas localizadas (primária, secundária e terciária) são totalizadas conforme sua prioridade de atendimento. Essa operação é representada pela seguinte formulação matemática:

$$DL_j(t) = FC.UCA_j(t).UD_j(t).ED.FI(t) \quad (2.16)$$

Onde: $DL_j(t)$ é a demanda localizada requerida no PC (m^3/s), no intervalo de tempo t .

As possibilidades de intervalo de tempo para simulação no PROPAGAR MOO são: 5 dias; 10 dias; 15 dias; e 30 dias. No entanto, anteriormente a essa escolha, o usuário deve ponderar que as vazões afluentes ao PC localizado mais a montante da bacia devem atingir aquele mais a jusante dentro do intervalo de simulação escolhido (Tröger, 2002).

2.11.3 Decisões Gerenciais e Operacionais

As decisões gerenciais são implementadas no PROPAGAR MOO em duas fases: de planejamento estratégico e de operação tática (Lanna, 1997b).

Na fase de planejamento estratégico são definidas políticas operacionais para todos os PCs, em função da água existente na bacia naquele instante. Isso pressupõe o conhecimento da vazão afluente ao PC durante o intervalo de tempo. Nos cursos de água afetados pela presença de reservatório, a estratégia operacional engloba o estabelecimento do nível de atendimento da demanda e da descarga defluente do reservatório. Nos cursos de água sem controle de reservatório, a política a ser aplicada diz respeito apenas ao nível de atendimento das demandas hídricas supridas no trecho.

Na fase seguinte, de operação tática, é verificada a possibilidade de implementação das decisões estratégicas (op cit.). Nessa fase, são confrontados restrições e condicionamentos de origem física, como a disponibilidade de água para suprimento de uma demanda ou descarga, ou de origem gerencial, como a verificação da necessidade de racionamento, não obstante haver água para atendimento a uma demanda.

A estratégia operacional, que serve para um planejamento geral, é introduzida no modelo através do método denominado Planeja, enquanto a tática operacional faz uso do método chamado Opera para a operação de reservatórios (Tröger, 2002).

Embora esses métodos estejam implementados com alternativas padronizadas no PROPAGAR MOO, é possível ao usuário modificá-los. Tais modificações nas decisões operacionais são introduzidas através de “*scripts*” de planejamento e operação, programados

em linguagem Pascal Script e denominados Rotina PLANEJA e Rotina OPERA, respectivamente.

Enquanto a estratégia operacional imposta pela rotina PLANEJA é executada no início da cada intervalo de tempo, a rotina OPERA é executada durante o balanço hídrico de cada ponto característico constituído de reservatório (op cit.).

2.11.4 Análise dos Resultados do PROPAGAR MOO

A análise dos resultados da simulação da propagação de vazões é o principal objetivo da utilização do PROPAGAR MOO na bacia, pois é dessa forma que será possível ao tomador de decisão avaliar o atendimento das demandas e as regras operacionais empregadas, isto é, diagnosticar o cenário em questão.

Nesse sentido, uma grande vantagem na utilização do PROPAGAR MOO é o fornecimento, ao final da simulação, de algumas propriedades dos PCs em ASCII e EXCEL 5.0, tais como: falhas ocorridas e percentuais atendidos das demandas primárias, secundárias e terciárias; afluências e defluências; vazões de montante; demandas atendidas, planejadas e totais; energia gerada; ou, ainda, volumes dos reservatórios ao longo da simulação.

A disponibilização desses dados permite ao usuário dispor do critério de análise que desejar para a avaliação dos resultados da simulação. Além disso, caso o usuário saiba programar na linguagem Pascal Script, existe a denominada Rotina de Uso Geral, que é executada pelo modelo após o último intervalo de tempo da simulação, permitindo a implementação no próprio PROPAGAR de quaisquer algoritmos de análise dos resultados.

2.12 ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS HÍDRICOS

O estabelecimento de critérios e padrões de análise do desempenho de sistemas hídricos tem sido incentivado por pesquisadores do assunto como uma necessidade natural de comparação de qualidade (eficiência) e de condições e ambientes onde se desenvolve o sistema.

Para aplicação no semi-árido nordestino, Vieira e Vieira (1995) definiram os conceitos de Sustentabilidade Hídrica e Vulnerabilidade, enquanto Campos et al. (1997) estabeleceram os indicadores de Vulnerabilidade de Sistemas Hídricos.

Os critérios de Hashimoto (1982), denominados de critérios de avaliação de performance ou desempenho, têm-se revelado úteis na avaliação da projeção de capacidades

de sistemas de recursos hídricos, configuração de estruturas, políticas de operação, entre outros. Isso se deve ao fato de que tais critérios captam aspectos específicos de possíveis desempenhos do sistema que são particularmente (ou especificamente) importantes durante períodos de seca, demandas de pico ou estados de clima desfavorável.

Os critérios de desempenho de Hashimoto descrevem como provavelmente o sistema falha (confiabilidade), o quanto rapidamente deixa de falhar (resiliência) e quão severas são as conseqüências das falhas (vulnerabilidade).

2.12.1 Confiabilidade

A confiabilidade (α), ou garantia, já é um conceito amplamente utilizado em planejamento de sistemas hídricos, sendo definida como a probabilidade do sistema atender a seus objetivos (não falhar).

Sendo X_t a variável randômica que representa a saída do sistema no tempo t , os possíveis valores de X_t podem ser classificados em dois conjuntos: S , o conjunto de todas as saídas satisfatórias (sucessos); e F , o conjunto de saídas insatisfatórias do sistema (falhas). Dessa forma, a confiabilidade do sistema pode ser descrita pela probabilidade de um sistema estar em um estado satisfatório:

$$\alpha = \text{prob}\{X_t \in S\} \quad (2.17)$$

Uma alternativa de definição da confiabilidade é a probabilidade de não haver falha dentro de um período de tempo especificado, considerado o período de planejamento. Entretanto, isso apenas pode ser afirmado quando o período do plano é finito.

2.12.2 Resiliência

A resiliência do sistema (γ) está relacionada com a sua elasticidade e pode ser entendida como a capacidade que o mesmo possui de se recuperar de uma falha, uma vez que esta (ou estas) tenham ocorrido.

Sendo T_F o comprimento do tempo (intervalo de tempo) no qual o sistema entre e permaneça em falha, a resiliência de um sistema pode ser definida como o inverso do valor esperado de T_F . Para a obtenção de uma expressão matemática para esse valor esperado, é necessário fazer:

$$Z_t = \begin{cases} 1, & \text{se } X_t \in S \\ 0, & \text{se } X_t \in F \end{cases} \quad (2.18)$$

Então, $\left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{t=1}^n Z_t$ é a fração do período de tempo entre $t = 1$ e $t = n$ no qual o sistema apresenta desempenho satisfatório. Para um período longo, esta fração se aproxima da probabilidade de sucesso do sistema, ou seja, da confiabilidade do sistema.

Sendo W_t a variável ou indicador de transição de um estado satisfatório para um insatisfatório, então:

$$W_t = \begin{cases} 1, & \text{se } X_t \in S \text{ e } X_{t+1} \in F \\ 0, & \text{demais casos} \end{cases} \quad (2.19)$$

Para n grande, o valor médio de W_t é igual à probabilidade ρ do sistema estar (ou ser) bem sucedido em algum período t e ir para o conjunto de falhas F no período seguinte:

$$\rho = \text{prob}\{X_t \in S \text{ e } X_{t+1} \in F\} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n W_t \right) \quad (2.20)$$

A média (ou tempo residente médio) do estado insatisfatório, ou falha, durante o período n é:

$$\overline{T}_F = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n (1 - Z_t)}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n W_t} \quad (2.21)$$

Pela Equação (2.21), quando n se aproxima do infinito, o tempo residente médio \overline{T}_F tende ao seu valor médio $(1 - \alpha)/\rho$. Assim, o valor esperado do comprimento de tempo que a saída do sistema ou desempenho permanece insatisfatório se torna igual a:

$$E[T_F] = \frac{1 - \alpha}{\rho} \quad (2.22)$$

A Equação (2.22) define o número médio de períodos de tempo nos quais falhas tenham ocorrido pelo menos uma vez. O inverso deste valor é a taxa média de retorno do sistema (ao sucesso) e a medida de resiliência aqui adotada:

$$\gamma = \frac{\rho}{1 - \alpha} = \frac{\text{prob}\{X_t \in S \text{ e } X_{t+1} \in F\}}{\text{prob}\{X_t \in F\}} \quad (2.23)$$

Para n muito grande, o número de transições do estado satisfatório (S) para o estado insatisfatório (F) deve se igualar ao número de transições na direção contrária:

$$prob\{X_t \in S \text{ e } X_{t+1} \in F\} = prob\{X_t \in F \text{ e } X_{t+1} \in S\} \quad (2.24)$$

Então, γ é equivalente à probabilidade média de mudança de um conjunto de falhas, em um passo de tempo particular:

$$\gamma = \frac{prob\{X_t \in F \text{ e } X_{t+1} \in S\}}{prob\{X_t \in F\}} = prob\{X_{t+1} \in S | X_t \in F\} \quad (2.25)$$

Se as falhas são eventos prolongados e a volta à normalidade (sucesso), ou a recuperação do sistema, é lenta, haverá sérias implicações no funcionamento do sistema. Deve-se, pois, projetar sistemas que possam se recuperar e retornar ao estado satisfatório rapidamente.

2.12.3 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade do sistema (ν) se refere às prováveis conseqüências das falhas, caso elas ocorram.

Considerando que o desempenho do sistema possa tomar valores discretos de $X_1 \dots X_n$, designe-se a cada estado de falha discreta $X_j \in F$ um indicador numérico de severidade deste estado denominado s_j para compor um indicador quantitativo da vulnerabilidade do sistema para falhas severas, caso ocorra uma ou mais falhas. Além disso, e_j é a probabilidade que X_j , correspondente a s_j , seja a mais severa saída (resposta) residente do sistema que ocorra em um conjunto de estados insatisfatórios F . A vulnerabilidade total do sistema é dada pela máxima vulnerabilidade que poderia ser esperada, de máxima severidade residente no conjunto de estados insatisfatórios:

$$\nu = \sum_{j \in F} s_j \cdot e_j \quad (2.26)$$

Note-se que aqui se enfatiza que não importa quão longamente a falha persiste (o inverso da resiliência), mas como ruins podem se transformar as situações (ou as repercussões).

É importante que os tomadores de decisão estejam conscientes e atentos com relação à vulnerabilidade do sistema, caso falhas aconteçam. Este pode ser um critério fundamental em projetos de recursos hídricos e seleção de alternativas.

2.13 CONCLUSÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tendo sido destacada a importância do instrumento de outorga para a eficiente alocação dos recursos hídricos entre seus usuários, a implementação desse instrumento de gestão foi abordada neste capítulo em dois de seus principais aspectos: a determinação da vazão máxima outorgável; e a integração dos aspectos qualitativos da água.

Quanto aos critérios de determinação da vazão máxima outorgável, foram apontadas as vantagens e desvantagens do uso de critérios estáticos e dinâmicos, verificando-se a necessidade de estudo de cada um. Para a introdução da qualidade da água, mostraram-se os benefícios da adoção do procedimento simplificado da vazão de diluição, principalmente na implementação e operacionalização do processo de outorga.

Também foi possível observar os ganhos obtidos na utilização do modelo de simulação de propagação de vazões PROPAGAR MOO para a consideração da outorga no sistema hídrico, além da grande capacidade dos parâmetros de desempenho de Hashimoto na análise dos resultados das simulações desses sistemas.

Dessa forma, essa ampla gama de informações obtidas para o processo de outorga de direitos de uso da água em sistemas hídricos forneceu subsídios para a concepção e realização dos estudos almejados nesse trabalho.

3

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO GRAMAME

3.1 A BACIA DO RIO GRAMAME

A bacia do rio Gramame está localizada no litoral sul do Estado da Paraíba, entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e os meridianos 34°48' e 35°10' Oeste, conforme mostra a Figura 3.1.

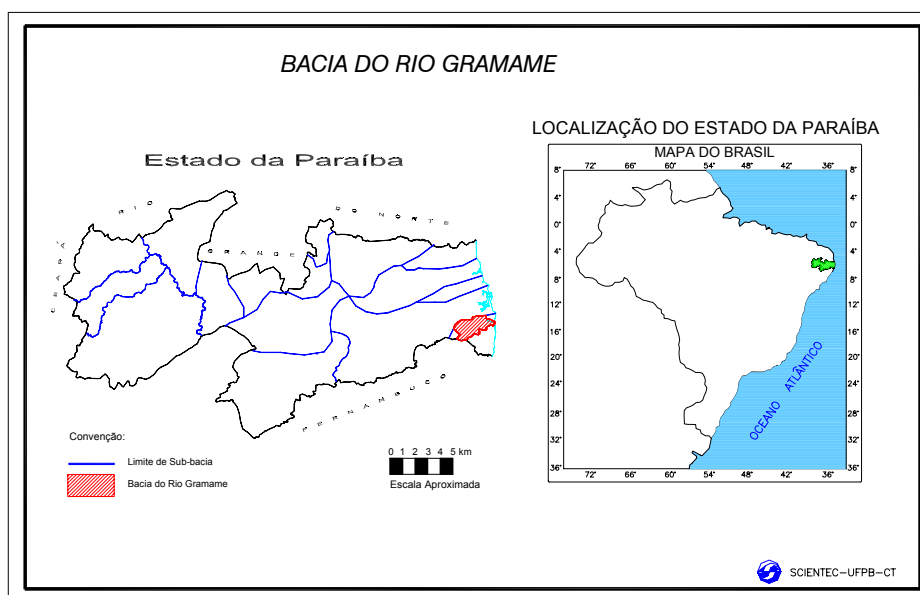


FIGURA 3.1. Localização da Bacia do Rio Gramame.
FONTE: SEMARH (2000).

A bacia compreende parcialmente os municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo, conforme proporção apresentada na Tabela 3.1.

TABELA 3.1. Percentuais de participação em área da bacia do rio Gramame por município.

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

FONTE: SEMARH (2000).

Na Figura 3.2, é mostrada com maiores detalhes a bacia do rio Gramame, juntamente com sua hidrografia e a divisão política dos municípios supracitados.

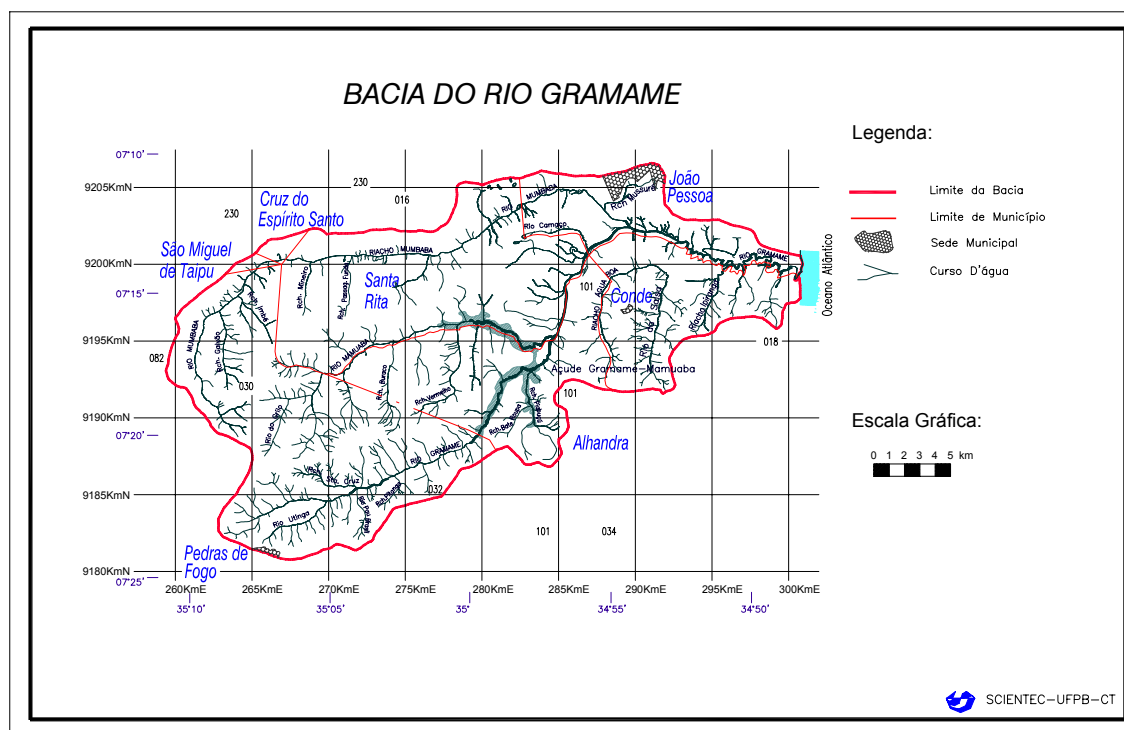


FIGURA 3.2. Hidrografia e divisão política da bacia do rio Gramame.
FONTE: SEMARH (2000).

3.2 ASPECTOS FÍSICOS E CLIMATOLÓGICOS

Com uma área de 589,1 km² e perímetro de 123,30 km, essa bacia de rios perenes tem como curso d'água principal o rio Gramame, cujos 54,3 km de extensão, medidos da sua nascente, na região do Oratório (município de Pedras de Fogo), até a praia de Barra de Gramame, limitam os municípios de João Pessoa e Conde.

Os principais afluentes do rio Gramame são:

- Margem direita: rio Utinga, rio Pau Brasil, riacho Pitanga, riacho Ibura, riacho Piabuçu e rio Água Boa.
- Margem esquerda: riacho Santa Cruz, riacho da Quizada, riacho do Bezerra, riacho do Angelim, riacho Botamonte, rio Mamuaba, rio Camaço e rio Mumbaba.

As sub-bacias dos rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa são as principais formadoras da bacia, juntamente com a sub-bacia do rio Gramame, contribuinte ao açude Gramame-Mamuba. As áreas dessas sub-bacias são mostradas na Tabela 3.2.

TABELA 3.2. Áreas das sub-bacias da bacia do rio Gramame.

Sub-Bacia	Área (ha)	Percentual
<i>Gramame</i>	21.850	37,1
<i>Mumbaba</i>	17.720	30,1
<i>Água Boa</i>	6.540	11,1
<i>Mamuaba</i>	12.800	21,7
SOMA	58.910	100,0

FORNTE: SEMARH (2000).

3.2.1 Geologia

Na bacia do rio Gramame, podem ser encontradas as seguintes formações geológicas (SEMARH, 2000): embasamento cristalino, dominando a porção central e ocidental da folha, de idade pré-cambriana; bacia costeira Pernambuco – Paraíba, com desenvolvimento do Cretáceo superior ao Terciário inferior; depósitos correlatos (Grupo Barreiras), com distribuição preferencial na faixa costeira; sedimentos de praia e aluviões de distribuição mais restrita e específica.

As nascentes dos principais rios da bacia, na porção sudoeste, são próximas do complexo cristalino, caracterizado por falhas e fraturas (Paiva, 2001). Em seguida, na parte ocidental da bacia, desenvolvem-se em vales encaixados que se alargam ao se aproximar da porção oriental. Dessa forma, verifica-se que as nascentes se localizam em uma área de baixa produtividade hídrica, e sua perenização se completa apenas quando atinge os terrenos sedimentares, de maior potencial hídrico.

3.2.2 Geomorfologia

De acordo com Carvalho (1982) apud SEMARH (2000), a bacia do rio Gramame está situada nos Baixos Planaltos Costeiros.

O Baixo Planalto se caracteriza como uma superfície subestrutura, semi-tabular, com mergulho na direção nordeste-leste em uma faixa de 60 a 90 km, marcando nitidamente a morfologia costeira do Estado da Paraíba, na direção norte-sul. De leste para oeste, alcança cerca de 60 km, com altitudes que aumentam no mesmo sentido, variando de 30-40 m até 200m.

No sentido oeste-leste, esse Planalto é recortado por rios quase paralelos entre si, separando-o em compartimentos quadrangulares, alguns relativamente preservados, outro intensamente dissecados.

Entre os rios Gramame, Mamuaba e Mumbaba, ocorrem áreas de intensa dissecação, com elevado grau de retalhamento, advindo dos processos acentuados de erosão ocasionados pela ação do escoamento superficial pluvial e pela interferência antrópica. Próximos às cabeceiras dos rios, os vales se tornam mais encaixados, atenuando-se à medida que alcança o curso médio, com encostas suavizadas, caracterizando vales em forma de “V” aberto.

3.2.3 Pedologia

Diversas classes de solos compõem a bacia do rio Gramame, dentre as quais pode-se destacar: Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico com fragipan Tb textura média; Podzol Hidromórfico; Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico textura média; Aluvissolo Eutrófico; Areia Quartzosa Marinha Distrófica e Solo Indiscriminado de Manguê.

A distribuição desses solos na bacia se dá da seguinte forma:

- Alto curso dos rios Gramame e Mamuaba: Com declividades mais acentuadas, ocorrem os Latossolos e os Podzólicos;
- Curso médio dos rios Gramame e Mamuaba: Com declives de encostas menos acentuados, são dominados pelos Podzóis e Podzólicos;
- Baixo curso dos rios Gramame e Mamuaba: Com declives de encostas menos acentuadas e vertentes suavizadas, os solos são Podzólicos;
- Zonas de acumulação: Aluvissolos, Areias Quartzosas e Solos de Mangues.

Dentre esses tipos de solos, os Podzólicos e os Latossolos são os mais susceptíveis à erosão, seguidos dos Podzóis e Areias Quartzosas. Os Aluvissolos e os Solos de Manguê se situam em posição geomorfológica de caráter deposicional.

Dessa forma, a erosão é mais evidenciada nos alto e médio curso dos rios Gramame e Mamuaba, sendo agravada pela exploração agrícola primitiva e pouco desenvolvida.

3.2.4 Cobertura Vegetal

Localizada na faixa úmida costeira, a bacia do rio Gramame apresenta uma grande diversidade vegetal, cujos principais ecossistemas e grau de antropismo, observados no ano de 1998, estão destacados na Tabela 3.3.

TABELA 3.3. Ecossistemas e grau de antropismo da bacia do rio Gramame, em 1998.

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

FONTE: SEMARH (2000).

O percentual de antropismo de 87,1% é resultado da devastação efetuada na bacia para: atendimento de indústrias de mineração, panificação e olarias; instalações de loteamentos; atividades agrícolas (abacaxi, coco, mandioca, inhame e cana-de-açúcar, principalmente); implantação de açudes; e implantação de estrutura viária. Dentre estes, a cana-de-açúcar se destaca como o uso de maior área de ocupação.

Como consequência dessa ocupação desenfreada, existem apenas 12,9% de vegetação nativa em toda a área da bacia.

3.2.5 Topografia

De acordo com a classificação de Dubreuil (1974) apud SEMARH (2000) para a região Nordeste do Brasil, o relevo da bacia do rio Gramame é predominantemente ondulado, variando de suave a ondulado em suas sub-bacias principais.

3.2.6 Climatologia

De forma similar às regiões semi-áridas do Nordeste, a região litorânea onde se localiza a bacia é afetada por um período de estiagem prolongado, de aproximadamente 6 meses (setembro a fevereiro). O período chuvoso contribui, em média, com cerca de 76% do total anual precipitado (SEMARH, 2000).

Devido à proximidade do Equador, o Estado da Paraíba se caracteriza por elevada radiação solar e grande número de horas de insolação, ocasionando num clima quente, com temperatura média anual de 26 °C e poucas variações intra-anuais.

Segundo a classificação de Köppen, adaptada para o Estado, a região da bacia está inserida nas zonas denominadas Aw'i (região litorânea) e BSw'h' (pequena porção ocidental da bacia). A classe Aw'i indica um clima tropical úmido, com estação seca no outono, e BSw'h' indica um clima seco do tipo estepe, também com estação seca no outono.

A evaporação média anual na bacia é de 1.600 mm, enquanto a precipitação total anual varia entre 800 e 1.800 mm, com um alto gradiente de precipitação no sentido leste-oeste, estando as áreas de maior concentração pluviométrica nas proximidades do Oceano Atlântico.

3.3 USO DO SOLO

A bacia do rio Gramame possui fundamental importância por ser a principal responsável pelo abastecimento do conglomerado urbano formador da Grande João Pessoa (GJP), da expressiva população residente no seu espaço geográfico e das atividades supridas pelos seus recursos naturais (SEMARH, 2000).

As principais atividades desenvolvidas e providas pelos seus recursos naturais são:

- Irrigação, representando a maior área de ocupação, bem como o maior consumo de água, e tendo como principais culturas a cana-de-açúcar e o abacaxi;
- Indústrias, com maior concentração no Distrito Industrial de João Pessoa;
- Mineração;
- Turismo e lazer na parte baixa da bacia;
- Abastecimento de cerca de 60% da população das sedes municipais de Conde, Pedras de Fogo e da Grande João Pessoa (João Pessoa, Santa Rita, Bayeux e Cabedelo);
- Assimilação de esgotos domésticos e industriais;
- Dessedentação de animais;
- Proteção, conservação e recuperação da vegetação.

Dessa forma, verifica-se que, além de ter os seus recursos solicitados para o sustento dos diversos usos da própria bacia, a bacia do rio Gramame também exporta água para os sistemas de abastecimento de água de cidades fora da bacia (Bayeux e Cabedelo). Segundo Ribeiro (2000), é um cenário cada vez mais comum os grandes centros urbanos se utilizarem de forma crescente e impactante dos recursos naturais localizados além de seus limites geográficos. Os principais usos da água na bacia são detalhados nos itens seguintes.

3.3.1 Irrigação

As principais atividades agrícolas desenvolvidas na bacia são o cultivo de cana-de-açúcar, abacaxi, coco, mamão, mandioca, inhame, feijão e batata doce.

Dentre as técnicas de irrigação empregadas, pode-se destacar aspersão convencional, aspersão por canhão, pivô central, microaspersão e gotejamento, sendo o sistema de irrigação por aspersão convencional móvel o método mais empregado. Entretanto, os projetos de irrigação da maioria dos pequenos irrigantes são elaborados pelos próprios, e aqueles que possuem projetos elaborados por empresas especializadas não sabem manejar corretamente os seus sistemas (SEMARH, 2000), embora deveriam ser treinados para fazê-lo.

3.3.2 Mineração

Os recursos minerais mais explorados na bacia são: água mineral, areia (Cruz do Espírito Santo e Santa Rita), argila (quase todos os municípios) e calcário (Alhandra e Conde). A extração de areia e barro, destinados à construção civil, por sua vez, são as principais atividades mineradoras.

A extração da argila, usada para fabricação de tijolos e telhas, constitui-se num contribuinte potencial para o processo de assoreamento dos rios. Entretanto, por estar em escala bastante reduzida, a exploração mineral existente não é significativa de forma a contribuir no processo de erosão.

O crescimento da extração de minerais não metálicos, com lançamento de seus resíduos inadequadamente nos solos ou cursos d'água, pode provocar uma grande devastação ambiental, devido à erosão, ao escorregamento/deslizamento, ao assoreamento dos cursos d'água e à poluição dos mananciais. Essa é uma das fontes prováveis de poluição das águas da bacia do rio Gramame, porém a inexistência de informações a respeito do seu destino final não permite maiores considerações.

3.3.3 Abastecimento Urbano

Conforme dito anteriormente, a bacia do rio Gramame é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 60% da população dos municípios de Conde e Pedras de Fogo, e da Grande João Pessoa - GJP (João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e o distrito de Várzea Nova, em Santa Rita).

Além das captações no rio Mumbaba e no sistema Gramame-Mamuaba, inseridos na bacia, a GJP é abastecida por recursos hídricos provenientes de outras bacias. O rio Marés e o sistema de águas subterrâneas de Buraquinho complementam seu abastecimento com 225 l/s e 116 l/s, respectivamente.

Entretanto, para os horizontes de 2005, 2010 e 2020, a ampliação das vazões disponibilizadas para o abastecimento da GJP, através do rio Marés e de Buraquinho, é incompatível com o estado de saturação no qual suas disponibilidades já se encontram. Logo, a possibilidade de suprimento recai para a bacia do rio Gramame, caso seja confirmada disponibilidade para isso.

3.3.4 Assimilação de Esgotos Domésticos e Industriais

Devido à falta de controle e disciplinamento no uso e ocupação do solo, os mananciais da bacia são constantemente expostos a poluentes provenientes de:

- Esgotos domésticos: Os municípios de Conde e Pedras de Fogo não possuem sistema de esgotamento sanitário, acarretando no lançamento dos esgotos domésticos no solo e nos cursos d'água, ou na adoção de soluções individuais como fossa ou valas superficiais. Em alguns casos, os efluentes são lançados em galerias de águas pluviais ou sarjetas.
- Resíduos sólidos: Os inadequados tratamento e destino final dos resíduos sólidos nos municípios e localidades inseridas na bacia, com apenas sua coleta e transporte para o solo ou cursos d'água, revela-se uma grande ameaça ao meio ambiente e à saúde pública.
- Efluentes industriais: As indústrias instaladas na bacia são de gêneros tradicionais, como produtos alimentares, construção civil, serviços de reparação, manutenção e instalação, minerais não metálicos, metalúrgica, têxteis, etc. São poucas as informações disponíveis sobre as características dos efluentes gerados nessas indústrias e de seu destino final. De modo geral, as indústrias de pequeno porte não adotam sistemas de tratamento adequado para não onerar o custo do produto final, enquanto as indústrias de maior porte apresentam sistemas de tratamento completo de resíduos líquidos, porém, de eficiência questionável na garantia de qualidade do efluente lançado nos cursos d'água (SEMARH, 2000). Por apresentar uma grande concentração de indústrias, o Distrito Industrial de João Pessoa é a principal fonte poluidora das águas da bacia, com lançamentos diretos de seus efluentes, principalmente no riacho Mussuré. Além desta, outras fontes consideráveis de poluição são as indústrias de produção de açúcar e álcool, que utilizam o vinhoto sem tratamento na fertirrigação de canaviais próximos a cursos d'água.
- Resíduos de agrotóxicos: Por ter uma base econômica essencialmente rural, grandes quantidades de fertilizantes e agrotóxicos dos mais perigosos são

empregados na bacia, em praticamente todos os tipos de cultura. Com a ausência de sistemas de drenagem, esses fertilizantes e agrotóxicos são carregados para os mananciais pela lavagem das plantas e do solo pela água.

3.4 INFRA-ESTRUTURA HIDRÁULICA

3.4.1 Situação Atual

O sistema de barragens Gramame-Mamuaba, mostrado na Figura 3.3, constitui-se na principal reserva hídrica da bacia do rio Gramame e da região litorânea do Estado da Paraíba.

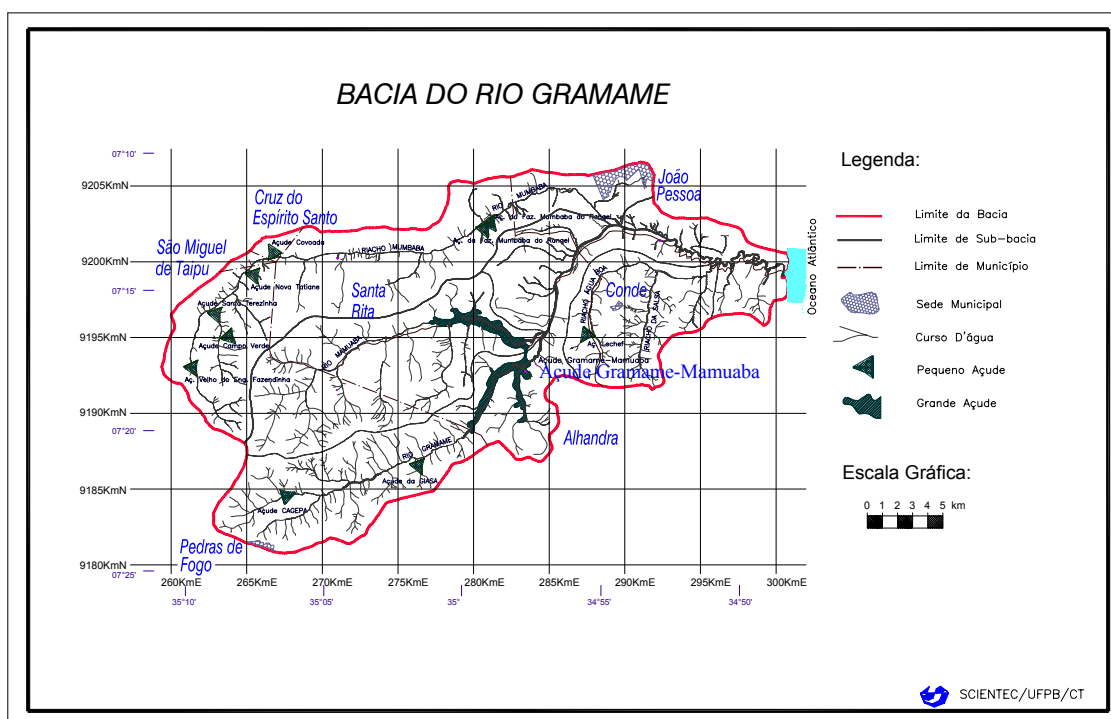


FIGURA 3.3. Reservatórios da bacia do rio Gramame.
FONTE: SEMARH (2000).

O sistema Gramame-Mamuaba é formado por dois reservatórios, um no rio Gramame e outro no rio Mamuaba, ligados por um canal de 800 m de comprimento para manutenção da estabilidade do nível das águas do reservatório Gramame, nos períodos de seca prolongada. Os dois fluxos de entrada do reservatório Gramame são provenientes do próprio Gramame e do riacho Piabuçu, enquanto o reservatório Mamuaba recebe apenas contribuição do rio Mamuaba. A área inundada pelo represamento é de 940 ha, correspondendo a um volume armazenado de 56,937 hm³, sendo 30,706 hm³ oriundos do açude Gramame e 26,231 hm³ do açude Mamuaba.

Os demais represamentos mostrados na Figura 3.3, à exceção do açude Pitanga, são pequenos barramentos distribuídos pela bacia, com um volume estimado de 430.500 m³.

O açude Pitanga, com uma capacidade máxima de 2,39 hm³, foi construído no riacho de mesmo nome a fim de melhorar a disponibilidade hídrica no local de captação da agroindústria GIASA (Gramame Industrial e Agrícola S/A), localizada no rio Gramame, a jusante da afluição do riacho Pitanga (GIASA, 2000).

3.4.2 Necessidades Futuras

Conforme observado em SEMARH (2000), a infra-estrutura hídrica atual já não satisfaz às demandas da bacia. Por isso, foram apontadas como medidas mitigadoras a construção de um reservatório no rio Mumbaba (de 41,09 hm³) e outro no alto curso do rio Gramame (de 7,841 hm³). O reservatório no rio Mumbaba se destinaria ao aumento da disponibilidade de água para o abastecimento da Grande João Pessoa, enquanto o do rio Gramame teria por finalidade abastecer a cidade de Pedras de Fogo.

No Anexo 1 são mostradas as curvas cota-área-volume, bem como as demais informações, de todos os reservatórios considerados neste item e no anterior.

Além desses reservatórios, foi analisada a hipótese de importação de água dos rios Abiaí, Papocas e Cupissura, na bacia vizinha (bacia Abiaí-Papocas), visando a minimização do impacto da exportação de água para a Grande João Pessoa, diante dos setores primário e secundário. De acordo com estudos hidrológicos das disponibilidades hídricas desses rios, a vazão disponível para adução foi de 1.120 l/s, sendo 595 l/s contribuição do rio Papocas, 315 l/s do rio Abiaí e 210 l/s do rio Cupissura. A adutora seguiria do município de Alhandra, a partir do distrito de Cupissura, até a Estação de Tratamento de Água de Gramame, em João Pessoa, a montante do reservatório Gramame-Mamuaba, e a importação poderia ser efetivada a partir de 2020.

Dentro do contexto de implantação de sistemas de esgotamento sanitário, SEMARH (2000) prevê duas ações:

- Implantação da rede de esgotos da cidade de Pedras de Fogo e construção de uma estação de tratamento com eficiência de 99,6% na remoção de DBO e de 99,9% na remoção de coliformes totais, com lançamento em um afluente do rio Utinga.
- Projeto e implantação da rede de esgotos da cidade do Conde e construção de uma estação de tratamento com eficiência de remoção mínima de DBO e de coliformes totais de 99%, com lançamento em um afluente do rio Água Boa.

3.5 PROBLEMÁTICA DA REGIÃO

A distribuição irregular da precipitação, temporal e espacialmente, vem tornando a escassez hídrica um empecilho para o desenvolvimento sustentável da região da bacia do rio Gramame, principalmente no que se refere ao abastecimento urbano e animal, à irrigação e ao abastecimento industrial (SEMARH, 2000).

Outro agravante é o alto índice de devastação da bacia, conseqüência da exploração desordenada e predatória, aliada à crescente urbanização no seu território, sem nenhum controle ou disciplinamento do uso e ocupação do solo por parte dos órgãos públicos. Em 1998, apenas 12,9% da área da bacia era composta pela vegetação nativa.

Além desses fatores, a bacia vem sofrendo um processo contínuo de degradação, devido a: inadequados serviços de coleta, transporte, tratamento e destino final de esgotos domésticos (cidades de Conde e Pedras de Fogo), despejos industriais (Distrito Industrial de João Pessoa) e resíduos sólidos; uso indiscriminado de agrotóxicos na agropecuária e irrigação; e mineração. Essas atividades alteram constantemente a qualidade de seus cursos d'água, desconsiderando que a grande irregularidade na distribuição da precipitação e a baixa vazão nos períodos de estiagem podem impossibilitar seu uso para diluição de despejos.

Entretanto, de modo geral, as águas superficiais que escoam até os reservatórios Gramame–Mamuaba ainda se apresentam de boa qualidade. Os conflitos a montante desses reservatórios são decorrentes principalmente dos grandes volumes de água requisitados pelos projetos de irrigação, enquanto a jusante os principais problemas se devem à necessidade de preservação dos ecossistemas, degradados pelas freqüentes descargas dos efluentes do Distrito Industrial de João Pessoa, principal fonte poluidora da bacia (Paiva e Ribeiro, 2000).

Aliada a toda essa problemática, a bacia ainda exporta uma quantidade expressiva de água para sistemas de abastecimento de cidades localizadas além dos seus limites geográficos, quais sejam Bayeux e Cabedelo. E o município de João Pessoa, embora tenha parte de seu território na área da bacia, também tem sua parcela não inserida abastecida pelos recursos hídricos da bacia em questão.

A comprovação por Paiva (2001) da fragilidade da atual forma de operação do sistema, aliada à infra-estrutura hídrica pertinente, incapazes de garantir uma exploração socialmente, economicamente e ambientalmente sustentável na bacia, deixa evidente a necessidade de estabelecimento de políticas gerenciais e operacionais adequadas à realidade da região, considerando os aspectos quantitativos e qualitativos para uma alocação eficiente dos recursos hídricos disponíveis.

3.6 INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS

A maior parte das informações dos itens que se seguem foram obtidas do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (SEMARH, 2000), por isso apenas são citadas referências quando tais informações provêm de fonte distinta.

3.6.1 Dados Climatológicos

As variáveis climatológicas da bacia do rio Gramame são provenientes de medições efetuadas na estação de João Pessoa, localizada nas proximidades da bacia e controlada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os valores médios mensais e anuais de algumas dessas variáveis, obtidos a partir das médias mensais e anuais dos valores diários no período de 1961 a 1990, são mostrados na Tabela 3.4.

TABELA 3.4. Dados climatológicos médios medidos na estação climatológica da cidade de João Pessoa.

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

FONTE: Adaptado de SEMARH (2000).

Os dados de evaporação disponíveis são as médias mensais do tanque classe “A” da Estação de Tratamento de Água de Marés (Tabela 3.5), obtidos com base nas observações do período de 1972 a 1983. O coeficiente de tanque empregado por SEMARH (2000) foi 0,85.

TABELA 3.5. Evaporação média mensal do tanque classe “A” da ETA de Marés (mm).

Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
150	132	142	130	117	108	116	123	137	157	155	149	1.616

FONTE: SEMARH (2000).

3.6.2 Dados Pluviométricos

A bacia em estudo possui dezoito postos pluviométricos instalados pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba) e mostrados na Tabela 3.6, com período de registro variando no intervalo de 1971 a 1989 e que hoje se encontram desativados.

TABELA 3.6. 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

FONTE: SEMARH (2000).

Em torno da bacia, há ainda quatro postos pluviométricos instalados pela SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) e que atualmente estão sendo monitorados pelo Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba (LMRS – PB), os quais se encontram na Tabela 3.7.

TABELA 3.7. Postos pluviométricos administrados pela SUDENE.

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

FONTE: SEMARH (2000).

Além dos postos acima citados, há o posto 1730000 que é atualmente operado pela agroindústria GIASA. Entretanto, após a análise dos postos das Tabelas 3.6 e 3.7 e do posto da GIASA, efetuado em SEMARH (2000), apenas foram consideradas as séries de precipitações diárias, mensais e anuais dos postos mostrados na Tabela 3.8 para o cálculo da precipitação na bacia do rio Gramame.

TABELA 3.8. Postos pluviométricos consistidos utilizados para o cálculo da precipitação na bacia do rio Gramame.

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 Emília
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

FONTE: SEMARH (2000).

3.6.3 Dados Fluviométricos

Os três postos fluviométricos existentes na bacia (Tabela 3.9) foram operados pela CAGEPA, obtendo-se dados de nível médio diário. Esses postos são mostrados na Figura 3.4.

TABELA 3.9. Postos fluviométricos da bacia hidrográfica do rio Gramame.

Nome	Código	Rio	Coordenadas UTM		Área de drenagem (km ²)
			Latitude	Longitude	
<i>Faz. Mumbaba</i>	-	Mumbaba	9.204,79	285,81	163,40
<i>Faz. Mamuaba</i>	-	Mamuaba	9.195,50	281,00	121,20
<i>Faz. Santo Antônio</i>	-	Gramame	9.194,46	284,71	125,80

FONTE: SEMARH (2000).

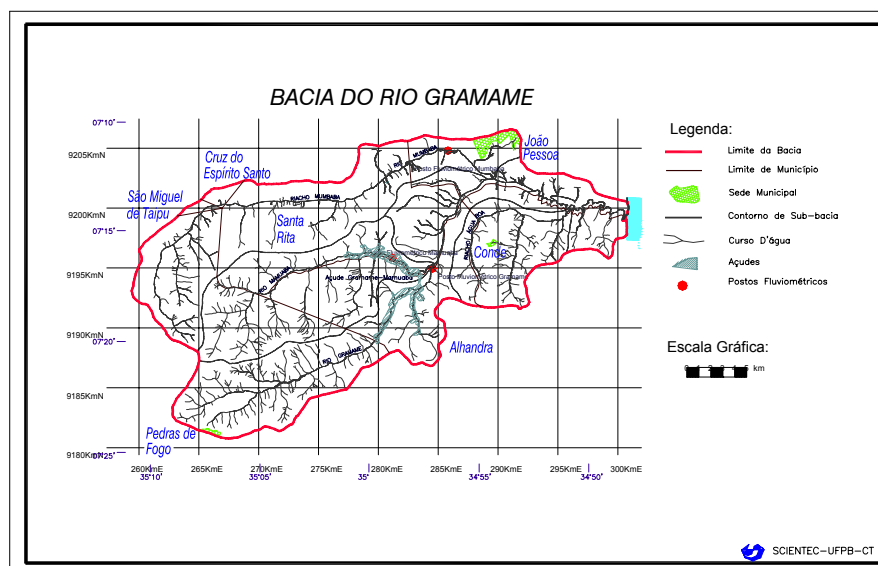


FIGURA 3.4. Postos fluviométricos da bacia hidrográfica do rio Gramame.

FONTE: SEMARH (2000).

Entretanto, a partir da análise de consistência desses postos, Alencar (2000) apud Paiva (2001) constatou que apenas devem ser consideradas as séries do período de 1972 a 1977, excluindo o posto fluviométrico do rio Gramame. Além disso, nenhum dos referidos postos contempla informações fluviométricas de importantes trechos d'água da porção oriental da bacia, conforme mostra a Figura 3.4. Assim, para o estabelecimento da disponibilidade hídrica da bacia, as informações disponíveis de vazão são escassas e relativas a poucos trechos dos cursos d'água. Por essas razões, SEMARH (2000) obteve séries de vazão pela utilização do modelo chuva-vazão AÇUMOD.

O AÇUMOD é um modelo hidrológico distribuído que executa o balanço hídrico dos açudes implantados na rede de drenagem da bacia hidrográfica, considerando as respectivas regras de operação e incorporando a distribuição espacial e temporal de fatores importantes como natureza do solo, tipo de ocupação do solo, geologia, precipitação e evaporação (Paiva, 2001). O ciclo hidrológico é simulado através de três funções: função de produção de água; função de transferência de água; e função de balanço hídrico nos açudes.

As séries pseudo-históricas mensais de vazão foram geradas por SEMARH (2000) nos pontos da bacia estabelecidos pela discretização (item 3.6.7), para o período de 1972 a 1988, com base nas séries diárias consistidas de precipitação e de vazão. A análise qualitativa da calibração e validação do modelo foi efetuada através da comparação entre as vazões calculadas e observadas, com base nos indicadores: média, desvio-padrão, máximo e mínimo, rendimento, erro médio quadrático, correlação e valor médio dos resíduos. No Anexo 2, são mostrados tais valores referentes aos postos fluviométricos Mumbaba e Mamuaba.

3.6.4 Demandas Hídricas

A demanda na bacia do rio Gramame tem três usos principais: abastecimento urbano local (Conde e Pedras de Fogo), irrigação e exportação de água para a Grande João Pessoa. A distribuição das águas da bacia entre esses diferentes usos é apresentada na Figura 3.5.

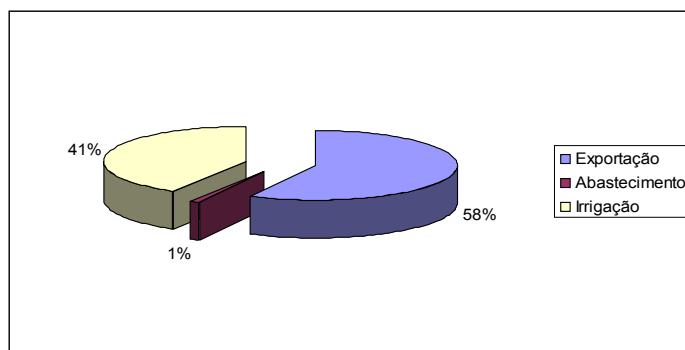


FIGURA 3.5. Estrutura das demandas na bacia do rio Gramame.
FONTE: SEMARH (2000).

Como o efetivo pecuário existente na bacia é pouco significativo, sendo suprido por poços e pequenos barreiros (Paiva, 2001) ou de forma muito difusa, a dessedentação animal não é mostrada.

a) Demanda para Abastecimento Urbano

Os dados deste item se referem aos municípios Conde e Pedras de Fogo, além daqueles pertencentes à Grande João Pessoa que são beneficiados pelos recursos da bacia.

Com base nos dados censitários de 1970, 1980, 1991 e 1996, obtidos junto ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), as populações rural e urbana dos municípios foram projetadas para os horizontes de 2000, 2005, 2010 e 2020 por SEMARH (2000). Entretanto, apenas foram consideradas as demandas para a população urbana (Tabela 3.10) no estudo das disponibilidades hídricas superficiais, devido ao fato das demandas rurais serem pouco significativas e abastecidas principalmente por poços.

TABELA 3.10. População urbana a ser atendida nos horizontes de projeto.

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

FONTE: IBGE (1999) apud SEMARH (2000).

Para as estimativas dos consumos relativos às populações abastecidas pelos recursos hídricos superficiais da bacia, SEMARH (2000) considerou o consumo médio per capita dos critérios adotados no Estado da Paraíba, uma vez que possuem uma concepção mais prática e compatível com sua realidade.

Para os municípios de Conde e Pedras de Fogo, o consumo per capita foi de 150 l/hab/dia. Devido às pequenas e médias indústrias serem abastecidas pela rede de distribuição da CAGEPA e às perdas físicas no sistema de adução, na GJP foi considerada uma taxa de 300 l/hab/dia para a população urbana.

Com base nos valores de consumo médio per capita e das projeções populacionais da Tabela 3.10, foram calculados os consumos de cada município nos horizontes de projeto (Tabela 3.11).

TABELA 3.11. Demandas hídricas para a 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)
<i>Bayeux</i>	328,46	360,16	389,00	436,69
<i>Cabedelo</i>	146,23	177,42	212,70	292,16
<i>João Pessoa</i>	2.158,42	2.407,69	2.648,93	3.066,95
<i>Conde</i>	13,92	16,77	19,98	27,35
<i>Pedras de Fogo</i>	23,53	23,30	22,82	21,25
<i>Várzea Nova</i>	52,00	57,94	62,69	69,59
Total	2.722,57	3.043,28	3.356,13	3.914,00

FONTE: SEMARH (2000)

b) Demanda para Indústrias

As indústrias instaladas na bacia do rio Gramame apresentam maior concentração na parte baixa da sub-bacia do rio Mumbaba. Conforme ressaltado anteriormente, essas pequenas e médias indústrias localizadas no perímetro urbano têm suas demandas incluídas na demanda para abastecimento urbano, atendido pela CAGEPA (Paiva, 2001).

As demais indústrias da bacia são abastecidas por poços, com exceção da agroindústria GIASA. Segundo GIASA (2000), a vazão requerida no rio Gramame por essa indústria é estimada em 900 m³/h, nos meses de setembro a janeiro, e 50 m³/h, de fevereiro a agosto, mantendo-se constante nos horizontes do plano.

c) Demanda para Irrigação

Com base no levantamento das áreas irrigadas da região, contendo as principais informações referentes a cada uma, as demandas hídricas para irrigação foram obtidas por SEMARH (2000), utilizando a metodologia indicada por Figueira e Silva Neto (1999) apud SEMARH (2000).

A adoção dessa metodologia se deve à pouca precisão das informações fornecidas pelos irrigantes. Além disso, conforme dito anteriormente, em sua grande maioria, são eles próprios quem elabora seus projetos e, mesmo quando projetados por empresas especializadas, os sistemas não são manejados adequadamente.

Com a bacia se encontra num estágio avançado de saturação, no que diz respeito às áreas de exploração agrícola, com algumas demandas para esse setor já não sendo supridas, não deve ser considerado o crescimento das demandas para irrigação, que são mantidas iguais às obtidas por Figueira e Silva Neto (1999) apud SEMARH (2000). Vale ressaltar aqui que as demandas para irrigação foram calculadas considerando a lâmina d'água efetivamente usada, já descontados os retornos para o curso d'água.

Na Tabela 3.12 são fornecidas as demandas para irrigação por sub-bacia. As demandas para irrigação por seção de controle da bacia são mostradas no Anexo 3.

TABELA 3.12. Demandas hídricas para irrigação na bacia do rio Gramame.

Sub-bacia	Demandas em 10³ m³/ano
<i>Água Boa</i>	826,25
<i>Gramame</i>	13.540,20
<i>Mumbaba</i>	5.694,95
<i>Mamuaba</i>	9.149,43
TOTAL	29.210,83

FONTE: Paiva (2001).

3.6.5 Qualidade da Água

a) Principais Pontos de Lançamento de Despejos

Conforme visto anteriormente, de modo geral, as condições ambientais são desfavoráveis em alguns trechos dos rios da bacia do rio Gramame. Nos cursos d'água a jusante do sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba, a poluição hídrica vem crescendo cada vez mais, principalmente no riacho Mussuré, em virtude do crescimento do número de indústrias geradoras de efluentes no Distrito Industrial de João Pessoa e do seu respectivo lançamento, sem tratamento, no referido riacho. Além disso, os municípios de Conde e Pedras de Fogo não possuem esgotamento sanitário. Outro agravante é o uso indiscriminado de agrotóxicos na agropecuária e irrigação, e as atividades de mineração, principalmente a montante dos reservatórios Gramame-Mamuaba.

Entretanto, para avaliação dos impactos das cargas poluidoras nas águas superficiais da bacia, por não haver dados disponíveis das demais fontes de poluição, SEMARH (2000) considerou apenas os lançamentos de esgotos domésticos provenientes das cidades situadas nas margens do rio Gramame e da carga de efluentes industriais do Distrito Industrial de João Pessoa, quais sejam:

- No Baixo Mumbaba, no qual o riacho Mussuré recebe as cargas poluidoras do Distrito Industrial de João Pessoa (PC 48);
- No rio Água Boa, onde são lançados os efluentes domésticos do Conde (PC 194);
- No Alto Gramame, que recebe os esgotos domésticos da cidade de Pedras de Fogo (PC 347).

Os Pontos de Controle (PCs) acima citados são identificados e mostrados mais adiante (item 3.6.7).

Porém, cabe lembrar que a desconsideração de outros poluentes, como os agrotóxicos provenientes da irrigação e os resíduos das atividades de mineração, torna possível a obtenção de um quadro irreal sobre a qualidade das águas superficiais da bacia do rio Gramame, bem menos grave do que realmente é.

Na Tabela 3.13 são mostradas as cargas orgânicas e as vazões de lançamento em cada uma das fontes de poluição.

TABELA 3.13. Vazões Médias de Esgoto e Cargas Orgânicas lançada na bacia do rio Gramame.

Ponto de Lançamento	Hipótese I		Hipótese II	
	Vazão do Lançamento (l/s)	Carga Orgânica DBO (toneladas/mês)	Vazão do Lançamento (l/s)	Carga Orgânica DBO (toneladas/mês)
48	40,0	66,173	-	-
194	1,1	0,840	50,0	40,0
347	2,4	1,900	50,0	40,0

FONTE: SEMARH (2000).

Para os esgotos domésticos, as hipóteses consideradas de vazão de lançamento e carga de DBO são as seguintes:

- Hipótese I: O lançamento de esgotos corresponde à parcela da população atual das cidades de Pedras de Fogo e Conde que não adotam sistema individual de tratamento de esgoto;
- Hipótese II: O lançamento corresponde aos esgotos de toda a população das referidas cidades para o horizonte de 2020.

As vazões médias dos esgotos domésticos foram calculadas com base na população das cidades, considerando uma das hipóteses acima e a concentração de DBO de 300 mg/l. As cargas poluidoras dos efluentes industriais foram estimadas com base no cadastro das indústrias.

Os níveis de eficiência considerados no tratamento dos esgotos domésticos pelo estudo efetuado em SEMARH (2000) foram 0%, 50% e 80%.

b) Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais

A SUDEMA (Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba) tem efetuado o monitoramento da qualidade dos cursos d'água da bacia do rio

Gramame desde 1991 (SUDEMA, 2002). As estações de amostragem com dados de concentração de DBO disponibilizados (período de 1993 a 2001) são as seguintes:

- AB 00 ⇒ no rio Água Boa, localizado 20 m a montante da confluência com o rio Gramame;
- MS 03 ⇒ no riacho Mussuré, 10 m a montante da confluência com o rio Mumbaba.
- MB 01 ⇒ no rio Mumbaba, 10 m a montante da confluência com o riacho Mussuré.
- MB 03 ⇒ no rio Mumbaba, 10 m a montante da confluência com o rio Gramame.
- GR 01 ⇒ no rio Gramame, 5 m a montante da barragem de nível da CONPEL.
- GR 03 ⇒ no rio Gramame, 10 m a montante da confluência com o rio Mumbaba.
- GR 05 ⇒ no rio Gramame, 100 m a montante da confluência com o rio Boa Água (Mituassú).

Na Figura 3.6, são localizadas as estações de amostragem de qualidade das águas superficiais acima citadas.

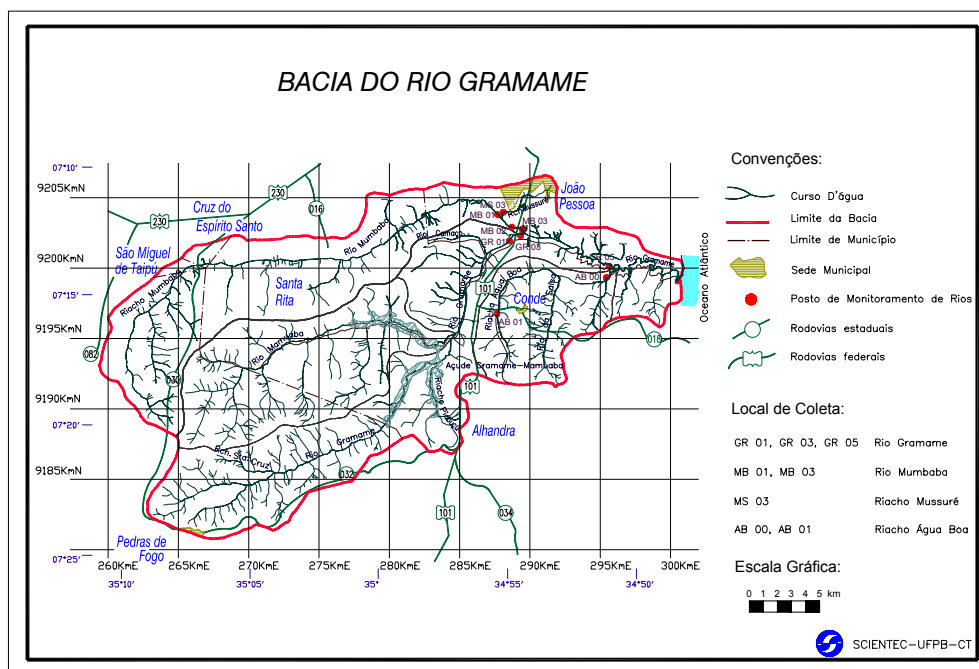


FIGURA 3.6. Estações de amostragem (existentes e propostas) da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Gramame.

FONTE: SEMARH (2000).

Para a estação de amostragem AB 01 (rio Água Boa, Ponte PB BR 101/Conde), é fornecido apenas o valor médio de concentração de DBO para o ano de 1999 (0,9 mg/l O₂) e, para a estação GR 02, não foram fornecidas informações.

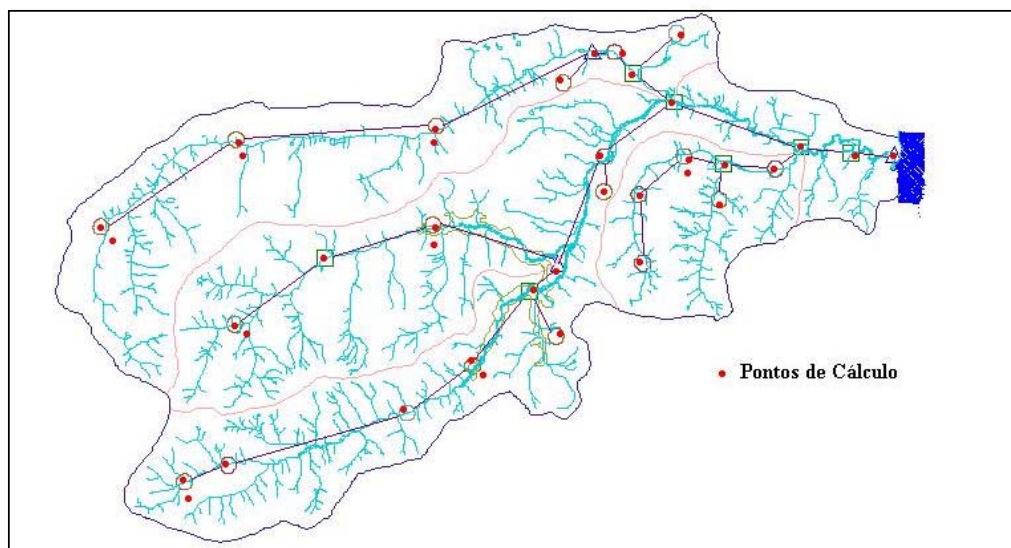
Nos cursos d'água não contemplados pelo monitoramento, a DBO considerada foi de 2 mg/l de O₂.

c) Depuração dos Cursos d'Água

Para avaliar os impactos das cargas poluidoras lançadas nos PCs 48, 194 e 347 e o processo de autodepuração dos cursos d'água, SEMARH (2000) fez uso do modelo matemático QUAL2E, distribuído pela EPA (*Environmental Protection Agency*).

O modelo QUAL2E tem a capacidade de simular simultaneamente 15 parâmetros de qualidade da água, quais sejam: OD, DBO, temperatura, alga (clorofila A), nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico, fósforo dissolvido, coliformes, um constituinte não conservativo e outros três conservativos. Para a avaliação da bacia do rio Gramame, o modelo foi empregado com suas componentes OD, DBO e coliformes fecais.

Para efeito de modelagem, a bacia foi dividida em seis regiões: Alto Gramame, Médio Gramame, Baixo Gramame, Água Boa, Alto Mumbaba e Baixo Mumbaba. A Figura 3.7 apresenta os pontos de cálculo das simulações, sendo usadas nessas simulações as vazões com probabilidade de 98% de permanência mensal.



**FIGURA 3.7. Localização dos pontos de simulação do modelo QUAL2E.
FONTE: SEMARH (2000).**

Como os lançamentos de efluentes afetam o Baixo Mumbaba, o rio Água Boa e o Alto Gramame, apenas nos interessa a autodepuração (perfis de DBO) nos cursos d'água dessas regiões. Entretanto, devido à ausência de usos a jusante, apenas essas duas últimas

regiões foram analisadas em SEMARH (2000), no que se refere à autodepuração no curso d'água.

São mostrados nas Tabelas 3.14 e 3.15 os cenários simulados com o QUAL2E para as regiões do rio Água Boa e do Alto Gramame, respectivamente, para os quais se obteve os perfis de DBO necessários ao emprego da autodepuração nesse estudo.

TABELA 3.14. Cenários de qualidade da água analisados para o rio Água Boa.

Nome do Cenário	Vazão no Rio	Carga Poluidora	Tratamento
AB1	Vazão com 98% de permanência	Hipótese I	0,0%
AB2	Vazão com 98% de permanência	Hipótese II	0,0%
AB3	Vazão de 100 l/s na seção 194 e para as demais seções acréscimo de vazão similar ao com 98% de permanência	Hipótese II	0,0%

FONTE: SEMARH (2000).

TABELA 3.15. Cenários de qualidade da água analisados para o Alto Gramame.

Nome do Cenário	Vazão no Rio	Carga Poluidora	Tratamento
AG1	Vazão com 98% de permanência	Hipótese I	0,0%
AG2	Vazão com 98% de permanência	Hipótese I	50,0%
AG3	Vazão com 98% de permanência	Hipótese I	80,0%
AG4	Vazão com 98% de permanência	Hipótese II	80,0%
AG5	Vazão com 98% de permanência	Hipótese II	0,0%
AG6	Vazão de 1,0 m ³ /s no ponto 346 e para as demais seções acréscimo de vazão similar ao com 98% de permanência	Hipótese II	0,0%
AG7	Vazão de 0,77 m ³ /s (vazão média) no ponto 346 e para as demais seções acréscimo de vazão similar ao com 98% de permanência	Hipótese II	0,0%

FONTE: SEMARH (2000).

d) Enquadramento dos Corpos d'Água

A Diretriz Estadual que delibera sobre o enquadramento dos corpos d'água da bacia do rio Gramame é a DZ 208 – Enquadramento dos Corpos D'água da Bacia Hidrográfica do Litoral e Zona da Mata, aprovada pelo COPAM em março de 1988.

Conforme visto no Capítulo 2, o enquadramento da DZ 208 segue a classificação estabelecida na DZ 201 – Classificação das Águas Interiores do Estado da Paraíba, e adota os critérios mostrados na Tabela 3.16.

TABELA 3.16. Critérios de Enquadramento adotados na DZ 208.

Trecho do Curso d'Água	Classe
<i>Nascentes de rios e riachos, numa extensão que depende da ocupação da bacia em estudo.</i>	1
<i>Rios de pequeno, médio e grande porte, a partir do trecho de Classe 1.</i>	2
<i>Lagos e lagoas</i>	2 ou 3
<i>Riachos que atravessam cidades, povoados ou vilas, a jusante do trecho de Classe 1.</i>	2 ou 3
<i>Riachos que nascem nos limites de cidades, povoados ou vilas, em toda sua extensão.</i>	2 ou 3
<i>Cursos d'água intermitentes, em toda sua extensão, dependendo da disponibilidade de água na região, e usos prioritários.</i>	2 ou 3
<i>Riachos que atravessam regiões sem atividades econômicas e urbanas</i>	1

FONTE: PARAÍBA (1988c).

No anexo da DZ 208, encontram-se enquadrados os seguintes trechos da bacia de interesse para nosso estudo (localizados a jusante dos pontos de lançamento de despejos destacados no item anterior):

- Rio Mumbaba e afluentes, do encontro com o riacho Gavião até a confluência do riacho Mussuré, inclusive ⇒ Classe 2;
- Rio Mumbaba e afluentes, do encontro com o riacho Mussuré, inclusive, até o deságüe no rio Gramame ⇒ Classe 3;
- Rio Gramame e afluentes, da nascente até o encontro com o riacho Santa Cruz, inclusive ⇒ Classe 1;
- Rio Gramame e afluentes, do encontro com o riacho Santa Cruz até a confluência com o rio Mumbaba ⇒ Classe 2;
- Rio Gramame, do encontro com o rio Mumbaba até o deságüe no mar ⇒ Classe 3;
- Afluentes do rio Gramame, do encontro com o rio Mumbaba até o deságüe no mar (onde se pode incluir o rio Água Boa) ⇒ Classe 3.

Como o parâmetro de qualidade da água utilizado nesse estudo é a Demanda Bioquímica de Oxigênio, a concentração máxima permitida de DBO de 5 dias a 20 °C nos trechos dos cursos d'água acima citados, segundo a Resolução CONAMA nº 20/86, são: 3 mg/l O₂ (Classe 1); 5 mg/l O₂ (Classe 2); e 10 mg/l O₂ (Classe 3). Não é permitido o lançamento de esgotos, mesmo tratados, nos rios de Classe 1.

3.6.6 Priorização das Demandas

Considerando as determinações do Decreto Estadual nº 19.260/97 (item 2.6.2) e os condicionantes da bacia do rio Gramame, SEMARH (2000) estabeleceu as seguintes prioridades de atendimento:

- Primária: abastecimento urbano;
- Secundária: armazenamento do volume meta de água nos reservatório Gramame-Mamuaba;
- Terciária: irrigação de culturas perenes (fruticultura) e outras culturas importantes para a segurança alimentar dos pequenos agricultores;
- Quaternária: irrigação da cana-de-açúcar.

3.6.7 Discretização da Bacia

Na discretização efetuada em SEMARH (2000), os PCs se referem aos locais de: captação de sistemas de irrigação fictícios, formados pelo agrupamento de diversos irrigantes (captações reais); captação de sistemas de abastecimento de cidades (Conde, Pedras de Fogo e Grande João Pessoa); açudes existentes (Gramame, Mamuaba e Pitanga) ou projetados (Mumbaba e Alto Gramame); exutórios de rios importantes; postos fluviométricos; e outros locais de interesse. Os referidos PCs são identificados na Tabela 3.17 e mostrados na Figura 3.8.

TABELA 3.17. Identificação dos Pontos de Controle da Bacia do Rio Gramame.

Ponto de Controle	Descrição
26	Açude fictício Mussuré
42	Posto Fluviométrico Mumbaba
43	Captação CAGEPA (Mumbaba)
47	Exutório Riacho Mussuré-Mumbaba
48	Exutório Sub-Mumbaba
68	Captação Mumbaba 1
79	Captação Mumbaba 2
132	Captação CAGEPA (Gramame)
133	Água Boa (Alt I)
135	Água Boa (Alt II)
136	Exutório Rio da Salsa
139	Exutório Água Boa
151	Exutório da Bacia
158	Exutório Riacho Coqueirinho-Mumbaba
185	Posto Fluviométrico Mamuaba
194	Captação CAGEPA (Conde)
219	Captação Mamuaba
222	Exutório Riacho Vermelho-Mamuaba
265	Exutório Piabuçu-Gramame
302	Captação Gramame
328	Captação Giasa
346	Açude fictício Gramame
347	Captação CAGEPA (Pedras de Fogo)
<i>Gra. Mam</i>	Sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba
<i>Pit.</i>	Açude Pitanga

FONTE: SEMARH (2000).

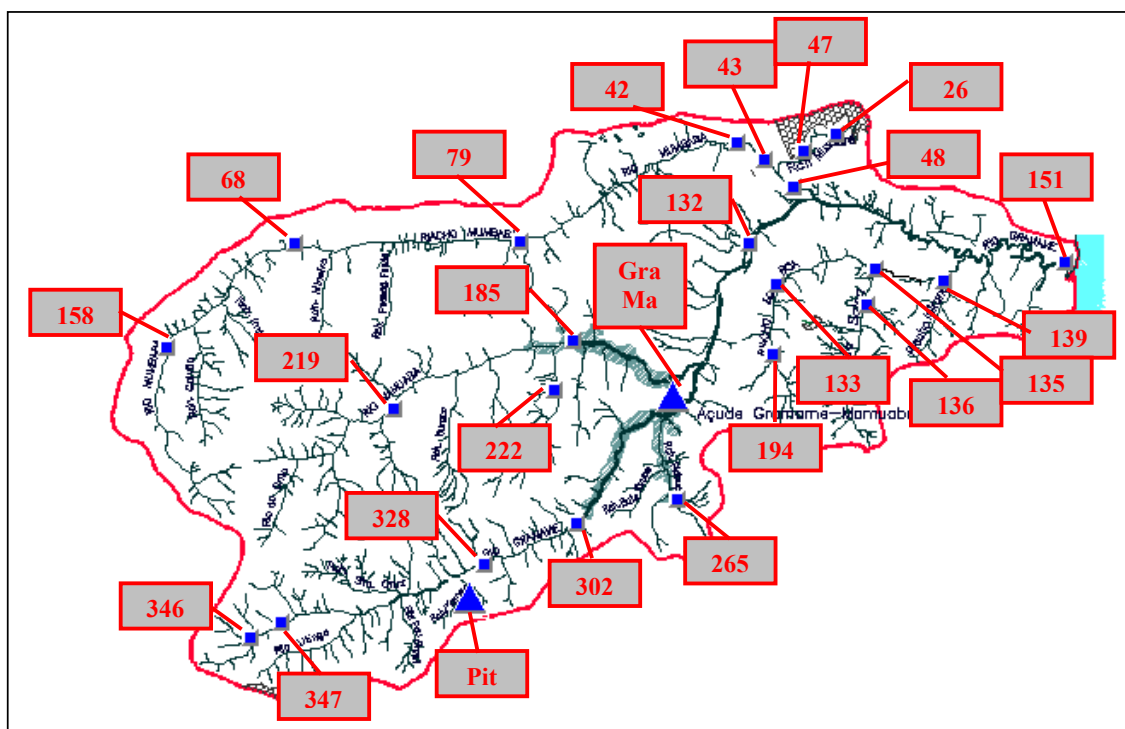


FIGURA 3.8. Identificação dos Pontos de Controle da bacia do rio Gramame.

3.6.8 Outorgas Concedidas

A maior parte dos termos de outorga concedidos pela SEMARH para os usuários da bacia do rio Gramame não possui informações importantes, como as coordenadas geográficas da captação, e mais da metade desses termos estão fora de validade (Paiva, 2002). Isso demonstra a ausência de controle e monitoramento das outorgas concedidas, tornando possível aos usuários detentores de outorga o aumento da quantidade de água captada na bacia.

Além disso, a verificação da possibilidade de atendimento à demanda requerida é feita apenas com a simulação do balanço hídrico da bacia com a outorga requerida e com as já concedidas, considerando como vazão máxima outorgável a vazão de referência Q_{90} , o que restringe bastante a expansão dos usos da água.

4

METODOLOGIA E APLICAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

A escolha de uma metodologia adequada a um determinado estudo de sistemas de recursos hídricos depende de vários fatores, dentre os quais se pode destacar (Lima e Lanna, não publicado): a configuração do sistema a ser analisado; os propósitos do uso da água; o estágio de aplicação (planejamento, projeto ou operação) nos objetivos do estudo; e o tomador de decisão.

Como a simulação hidrológica permite uma melhor análise das políticas operacionais estabelecidas sob o ponto de vista descritivo, possibilitando um maior entendimento do comportamento do sistema, esta foi empregada para avaliação do seu desempenho frente aos diversos cenários. Entretanto, nesse estudo, apenas foi simulada a propagação das águas superficiais da bacia do rio Gramame, uma vez que não existem dados e estudos confiáveis sobre suas reservas subterrâneas.

Visando alcançar os objetivos gerais e específicos propostos inicialmente, as etapas metodológicas para análise da outorga na bacia do rio Gramame foram divididas em duas frentes, detalhadas a seguir: avaliação dos critérios de outorga e introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga.

4.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA

Para a aplicação e análise dos critérios de determinação da vazão máxima outorgável na bacia do rio Gramame foram adotadas as seguintes etapas metodológicas, adaptadas de Lanna (1999):

- i. Identificação dos dados, usuários e demandas hídricas;
- ii. Discretização da bacia e definição dos Pontos de Controle (PCs);
- iii. Projeção de usos e demandas;
- iv. Priorização dos usos;
- v. Identificação das possibilidades de critérios de determinação da vazão máxima outorgável;
- vi. Definição dos cenários;
- vii. Simulação hidrológica dos diversos cenários e critérios;
- viii. Análise e comparação dos resultados.

4.2.1 Identificação dos Dados, Usuários e Demandas Hídricas

Conforme foi mostrado no item 3.6 do Capítulo 3, os dados referentes à bacia do rio Gramame estão todos disponíveis em SEMARH (2000).

Para a evaporação dos reservatórios, foram consideradas as evaporações médias mensais do tanque classe “A” da Estação de Tratamento de Água de Marés (Tabela 3.5), com o coeficiente de tanque de 0,85, adotado no Plano Diretor da bacia. Nos mesmos reservatórios, foi utilizada a precipitação do posto pluviométrico 1730000 (GIASA), pela proximidade dos mesmos e pela qualidade das medições.

Como comentado e mostrado no item 3.6.3, as informações sobre a disponibilidade hídrica superficial da bacia são escassas e relativas a poucos trechos de cursos d’água. Por isso, foram usadas as séries mensais de vazões de 17 anos (1972 a 1988) geradas por SEMARH (2000) para cada PC, através do modelo matemático de simulação do processo de transformação de chuva em vazão AÇUMOD. Entretanto, deve-se atentar que essas séries de vazões trazem embutidas os usos da água na bacia, não representando as séries naturais, mas as remanescentes (Silveira et al. 1998, apud Ribeiro, 2000).

Quanto às demandas hídricas, apenas os usos principais de água na bacia foram considerados, quais sejam: abastecimento urbano das cidades de Conde e Pedras de Fogo; irrigação; exportação de água para a Grande João Pessoa (GJP); e suprimento da agroindústria GIASA.

Isso se deve ao fato do abastecimento rural e da dessedentação de animais serem pouco significativos nas águas superficiais. Além disso, o suprimento das pequenas e médias indústrias situadas no perímetro urbano (e não abastecidas por poços) já está incluído na demanda para abastecimento urbano da GJP.

Entretanto, deve-se lembrar que deve ser mantida no rio uma vazão mínima que permita a manutenção dos seus ecossistemas (vazão ecológica).

4.2.2 Discretização da Bacia e Definição dos Pontos de Controle

Devido à grande disponibilidade de dados e informações necessários ao estudo de sistemas de outorga, juntamente com o número razoável de Pontos de Controle (PCs) estabelecido, permitindo uma análise dos principais cursos d’água da bacia do rio Gramame, utilizou-se a discretização de SEMARH (2000), mostrada na Figura 3.8 e cujos PCs foram identificados na Tabela 3.17 do Capítulo 3.

Conforme explicitado no item 3.6.7 do referido capítulo, esses PCs se referem aos locais de: captação de sistemas de irrigação fictícios, formados pelo agrupamento de diversos irrigantes (captações reais); captação de sistemas de abastecimento de cidades (Conde, Pedras de Fogo e Grande João Pessoa); açudes existentes (Gramame, Mamuaba e Pitanga) ou projetados (Mumbaba e Alto Gramame); exutórios de rios importantes; postos fluviométricos; e outros locais de interesse.

4.2.3 Projeção dos Usos e Demandas

Conforme dito no Capítulo 3 (item 3.6.4), a bacia do rio Gramame já se encontra num estágio avançado de saturação, no que diz respeito às áreas de exploração agrícola, com algumas demandas para esse setor já não sendo supridas. Assim, as demandas para irrigação foram consideradas iguais às observadas em 1999, para todos os anos, respeitando as variabilidades mensais. As demandas por PC estão disponibilizadas no Anexo 3. Vale ressaltar que as demandas para irrigação foram calculadas considerando a lâmina d'água efetivamente usada, logo seu coeficiente de retorno é nulo.

De forma similar à irrigação, a demanda da indústria GIASA é mantida constante para os horizontes do plano, considerando apenas a variabilidade mensal apresentada na Tabela 4.1.

TABELA 4.1. Variabilidade mensal da demanda hídrica da agroindústria GIASA, em m³/h.

Demanda Hídrica (m ³ /s)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
900	50	50	50	50	50	50	50	900	900	900	900

FONTE: Adaptada de GIASA (2000).

As demandas de água para abastecimento urbano requisitadas por Conde, Pedras de Fogo e os municípios da GJP e projetados para os horizontes de 2000, 2005, 2010 e 2020 foram mostradas na Tabela 3.11.

Como nosso objetivo é efetuar um estudo do processo de outorga para implementação em curto prazo na bacia do rio Gramame, as alternativas escolhidas de consumo urbano foram para os horizontes de 2005 e 2010.

As demandas urbanas de Conde (PC 194) e Pedras de Fogo (PC 347) foram mantidas constantes nos meses do ano e iguais às da Tabela 3.11, conforme mostrado nas Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

TABELA 4.2. Variabilidade mensal da demanda hídrica do município de Conde, em l/s.

Demandas hídricas (l/s)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2005	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77
2010	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98

TABELA 4.3. Variabilidade mensal da demanda hídrica do município de Pedras de Fogo, em l/s.

Demandas hídricas (l/s)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2005	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30	23,30
2010	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82	22,82

A demanda total da GJP é dada pela soma das demandas dos seus municípios formadores, quais sejam Bayeux, Cabedelo, João Pessoa e Santa Rita (distrito de Várzea Nova). No entanto, conforme mostrado no item 3.3.3 do Capítulo 3, 225 l/s e 116 l/ desse total são supridos pelo rio Marés e pelo sistema de águas subterrâneas de Buraquinho, respectivamente. Assim, descontando esses valores e considerando a demanda suprida pelo rio Mumbaba (PC 43) como 600 l/s ou 1000 l/s, a demanda restante da GJP a ser suprida no PC 132 é mostrada na Tabela 4.4.

TABELA 4.4. Demanda urbana da Grande João Pessoa na bacia do rio Gramame, em l/s.

Demandas hídricas (l/s)		
PC 43	PC 132	
	2005	2010
600	2.062,22	2.372,33
1000	1.662,22	1.973,33

Na ausência de estudos hidrológicos para determinação da vazão ecológica nos cursos d'água na bacia, seus valores foram adotados como 10% da vazão cuja probabilidade de superação é 90% (Q_{90}), uma vez que esta última é a vazão de referência estabelecida pelo Decreto Estadual nº 19.260/97. Porém, cabe notar que essa forma de cálculo adotada é destituída de qualquer significado ecológico.

4.2.4 Priorização dos Usos

Conforme citado anteriormente, os usos da água considerados nesse estudo foram irrigação, abastecimento urbano (Conde, Pedras de Fogo e GJP), indústria GIASA e a vazão ecológica.

Atendendo às prioridades definidas pelo Decreto Estadual nº 19.260/97 e analisando os condicionantes da bacia (item 3.6.6), detalhados em SEMARH (2000), estabeleceu-se a seguinte hierarquização dos usos da água:

- Primária: Abastecimento urbano e vazão ecológica;
- Secundária: Irrigação de culturas perenes (fruticultura) e outras culturas importantes para a segurança alimentar dos pequenos agricultores, além da agroindústria GIASA;
- Terciária: Irrigação da cana-de-açúcar.

O estabelecimento de apenas três prioridades tem por finalidade, em um primeiro momento, evitar a complexidade do entendimento do instrumento de outorga e a necessidade de fiscalização detalhada (Pereira, 1996). A agroindústria GIASA foi considerada como de prioridade equivalente à irrigação nobre, por esta ser a única indústria a ter sua demanda computada no processo. As demais indústrias são supridas pelos sistemas públicos de abastecimento de água, sendo seus consumos contabilizados juntamente com a demanda urbana.

4.2.5 Identificação das Possibilidades de Critérios de Determinação da Vazão Máxima Outorgável

De acordo com os condicionantes da bacia em estudo e com as determinações do Decreto Estadual nº 19.260/97, que regulamenta a outorga no Estado da Paraíba, foram empregados os critérios de determinação da vazão máxima outorgável apresentados na Tabela 4.5. Em todos os critérios foi adotada a priorização das demandas estabelecidas no item 4.2.4.

TABELA 4.5. Critérios de determinação da vazão máxima outorgável aplicáveis à bacia do rio Gramame.

Critério	Sigla Adotada
Critério da Vazão de Referência com 1 valor de Q_{90}	1VR
Critério da Vazão de Referência com 2 valores de Q_{90}	2VR
Critério da Vazão de Referência com 12 valores de Q_{90}	12VR
Critério da Vazão Excedente	VE
Critério da Garantia de Suprimento	GS

a) Critério da Vazão de Referência com 1 Valor de Q_{90}

Um valor de vazão de referência é usado para representar o limite superior de utilização dos cursos d'água. Como o Decreto Estadual nº 19.260/97 estabelece como disponibilidade das águas superficiais 9/10 da vazão cuja probabilidade de excedência em todo o período simulado é 90% (Q_{90}), essa foi a vazão máxima outorgável utilizada nesse estudo em cada PC.

Com base nas séries de vazões médias mensais em cada PC (item 4.2.1), foi obtido o respectivo valor de Q_{90} . A Tabela 4.6 mostra as vazões Q_{90} nos PCs de interesse (com demandas).

TABELA 4.6. Vazões Q_{90} anuais (para toda série hidrológica) nas seções de interesse da bacia do rio Gramame, em m³/s.

PC	Q_{90} (m ³ /s)
42	0,3149
43	0,3234
48	0,3603
68	0,0196
79	0,1862
132	0,5513
133	0,0784
136	0,0700
158	0,0003
185	0,2527
194	0,0492
219	0,0605
265	0,0316
302	0,1400
328	0,1220
346	0,0095
347	0,0182
Pit	0,0040
GraMam	0,4864

Entretanto, para os reservatórios Mumbaba (PC 42), Pitanga (PC Pit) e Gramame-Mamuaba (PC GraMam), os valores acima apenas foram utilizados no cálculo da vazão ecológica (demanda primária) nesses PCs. A vazão de referência usada como limite máximo de utilização (vazão outorgável) nos reservatórios foi a vazão regularizável com 90% de garantia.

Utilizando um programa de simulação de balanço hídrico em reservatório, desenvolvido pela autora em linguagem Delphi (versão 6.0), foram estimadas as vazões regularizáveis para os reservatórios com aproximadamente 90% de garantia (Tabela 4.7).

TABELA 4.7. Vazões regularizáveis com 90% de garantia, em m³/s.

PC	Reservatório	Vazão (m ³ /s)
<i>GraMam</i>	Gramame-Mamuaba	3,38
<i>Pit</i>	Pitanga	0,0629
<i>42</i>	Mumbaba	1,84

Como o reservatório Pitanga possui uma capacidade de acumulação ínfima, quando comparado com o sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba (ver item 3.4.1 do Capítulo 3), ele não foi considerado no cálculo da vazão regularizável deste sistema. Os valores da Tabela 4.7 foram os mesmos para os demais critérios que fizeram uso de vazões de referência.

b) Critério da Vazão de Referência com 2 Valores de Q_{90}

Conforme relatado no item 3.2.6 do Capítulo 3, a bacia do rio Gramame está situada numa região com estações seca e chuvosa bem definidas. O período de estiagem corresponde aos meses de setembro a fevereiro, enquanto a estação chuvosa ocorre nos meses de março a agosto, com cerca de 76% do total anual precipitado.

Considerando essa particularidade da região, é proposta a utilização de dois valores de Q_{90} , um para a estação seca e outro para a chuvosa. Assim, durante os períodos de excessos hídricos sobre a vazão de referência única do item anterior, é permitido um maior uso das disponibilidades da bacia, sem tornar demasiadamente complexa sua implementação e consideração como critério de outorga. Contudo, embora melhore o problema dos excessos hídricos, os problemas inerentes à fixação de valores como limite superior de utilização da água persistem (item 2.7.1 do Capítulo 2).

O cálculo dessas vazões procedeu de forma similar ao item anterior; a diferença se deu nas vazões utilizadas para o cálculo da Q_{90} . Para o período seco foram consideradas todas as vazões médias mensais no período correspondente aos meses de setembro a janeiro. Já o período chuvoso compreendeu as vazões médias mensais no período de março a agosto, em cada PC.

Como a vazão ecológica é tomada como 10% da Q_{90} , no emprego deste critério, ela acompanhou a mudança da vazão de referência, assumindo dois valores, um para o período seco e outro para o chuvoso. A Tabela 4.8 a seguir mostra as vazões Q_{90} para as estações seca e chuvosa em cada PC.

TABELA 4.8. Vazões Q_{90} dos períodos seco (setembro a fevereiro) e chuvoso (março a agosto) nas seções de interesse da bacia do rio Gramame, em m³/s.

PC	Vazões Q_{90} (m ³ /s)	
	Período Seco	Período chuvoso
42	0,2228	0,8236
43	0,2250	0,8429
48	0,2508	1,0542
68	0,0107	0,0825
79	0,1394	0,6386
132	0,4436	2,0048
133	0,0563	0,2903
136	0,0448	0,2500
158	0,0000	0,0027
185	0,2014	0,8153
194	0,0349	0,1509
219	0,0247	0,2619
265	0,0227	0,1644
302	0,0852	0,6237
328	0,0721	0,5413
346	0,0056	0,0500
347	0,0103	0,0923
Pit	0,0020	0,0236
GramMam	0,3487	1,8420

c) Critério da Vazão de Referência com 12 Valores de Q_{90}

Nesse caso, a vazão máxima outorgável varia em função do mês do ano, ou seja, há doze vazões de referência Q_{90} , uma referente a cada mês do ano, que se repetem em todo o período simulado.

Da mesma forma que o critério anterior, a utilização de vazões de referência mensais como vazão máxima outorgável num curso d'água procura disponibilizar mais água para os diversos usos. Entretanto, o processo de outorga se torna ainda mais complexo no que concerne à operacionalização e fiscalização. Apresenta a vantagem de não exigir estações seca e chuvosa bem definidas para permitir um maior uso das disponibilidades hídricas da bacia, além de ainda apresentar as vantagens do uso da vazão de referência, mesmo que seja mensal.

Para o estabelecimento dos valores de vazão de referência mensais por PC, foram usadas todas as vazões observadas no mês considerado na série de vazões. Os valores obtidos das vazões Q_{90} mensais para cada PC são mostrados na Tabela 4.9.

TABELA 4.9. Vazões Q_{90} mensais nas seções de interesse da bacia do rio Gramame, em m³/s.

PC	Vazões Q_{90} mensais (m ³ /s)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
42	0,1917	0,4438	0,6054	0,7208	1,7788	2,2953	1,9656	1,1529	0,6671	0,2744	0,1697	0,1414
43	0,1934	0,4618	0,6150	0,7253	1,8083	2,3916	1,9896	1,1681	0,6742	0,2754	0,1745	0,1427
48	0,2374	0,5687	0,7192	0,7866	2,0950	2,8194	2,2612	1,3300	0,7470	0,3004	0,2070	0,1449
68	0,0185	0,0297	0,0401	0,0313	0,1830	0,1872	0,3560	0,1845	0,1334	0,0030	0,0141	0,0043
79	0,1395	0,1942	0,3184	0,5461	1,1730	1,1798	1,4074	0,7424	0,4597	0,1830	0,0835	0,0941
132	0,4352	0,8005	1,1549	1,9470	3,2494	5,0199	3,6061	2,3172	1,2120	0,4361	0,3801	0,2737
133	0,0510	0,1534	0,2089	0,1743	0,4890	0,7209	0,3442	0,2834	0,1151	0,0672	0,0559	0,0273
136	0,0640	0,0968	0,1729	0,1676	0,4383	0,4562	0,4113	0,2858	0,1382	0,0400	0,0282	0,0072
158	0,0000	0,0003	0,0007	0,0019	0,0185	0,0229	0,0234	0,0052	0,0053	0,0003	0,0001	0,0000
185	0,1548	0,3579	0,4757	0,7693	1,4309	1,9008	1,4786	0,9371	0,5343	0,2148	0,1806	0,0985
194	0,0310	0,0763	0,1013	0,1151	0,3060	0,3657	0,2465	0,1940	0,0758	0,0441	0,0267	0,0165
219	0,0223	0,0784	0,0952	0,1464	0,4337	0,4962	0,5321	0,4239	0,2135	0,0470	0,0384	0,0192
265	0,0341	0,0381	0,0760	0,1646	0,2934	0,2827	0,2251	0,1921	0,0698	0,0193	0,0224	0,0138
302	0,0902	0,1383	0,2240	0,5601	0,9870	1,1329	0,8745	0,7843	0,3659	0,0584	0,0800	0,0869
328	0,0673	0,1128	0,1794	0,4596	0,8171	0,9570	0,7613	0,6672	0,3333	0,0508	0,0701	0,0743
346	0,0046	0,0060	0,0119	0,0334	0,0808	0,0908	0,0680	0,0692	0,0379	0,0050	0,0063	0,0049
347	0,0088	0,0118	0,0224	0,0657	0,1509	0,1676	0,1244	0,1273	0,0699	0,0093	0,0117	0,0094
Pit	0,0034	0,0068	0,0169	0,0280	0,0648	0,0589	0,0512	0,0237	0,0125	0,0017	0,0010	0,0007
Gra	0,3967	0,6604	0,9657	1,7192	2,9621	4,2703	2,9107	2,1266	1,1327	0,3379	0,3321	0,2350

De forma semelhante ao critério anterior, aqui também foram estabelecidas vazões ecológicas mensais para cada PC como 10% das vazões da tabela acima.

d) Critério da Vazão Excedente

Conforme descrito no item 2.7.2 do Capítulo 2, a vazão máxima outorgável no critério da vazão excedente é a vazão natural, acompanhando a dinâmica hidrológica e meteorológica da bacia. Cada usuário, com dada prioridade, poderá usar a vazão que lhe for outorgada, desde que não cause falhas no suprimento a usuários com maior prioridade, no PC onde está sua captação. Dessa forma, no caso da bacia do rio Gramame, os valores limites utilizados no processo de outorga foram as séries mensais de vazões geradas pelo AÇUMOD para os anos de 1972 a 1988.

As prioridades dos usos da água, necessárias ao emprego do critério, constam no item 4.2.4. Logo, falhas no atendimento da demanda primária apenas ocorreram quando os usos secundário e terciário não tiveram suas demandas atendidas. E as falhas ao atendimento secundário foram verificadas somente na ocasião de não atendimento da demanda terciária.

e) Critério da Garantia de Suprimento

Embora a metodologia para a aplicação desse critério tenha sido baseada na sua conceituação (item 2.7.2 do Capítulo 2), os condicionantes da bacia em estudo exigiram algumas ressalvas.

A questão fundamental é que, de acordo com o critério da garantia de suprimento, são determinadas as vazões a serem outorgadas para garantias decrescentes, sendo as vazões com maiores garantias reservadas para as demandas com maior prioridade de suprimento. Assim, são fixadas as falhas de atendimento a cada categoria e determinadas as vazões correspondentes, considerando a série de vazões naturais como vazão máxima outorgável.

Porém, na bacia do rio Gramame, as demandas de diferentes prioridades já se encontram instaladas. Portanto, as vazões outorgáveis a cada prioridade, por PC, seriam estabelecidas com determinada garantia, conforme descrito acima, mas as demandas existentes atendidas poderiam não ter a garantia correspondente.

Visando uma melhor compreensão dessa questão, é mostrado o procedimento concebido e adotado.

Para a aplicação do critério da garantia de suprimento na bacia, almejaram-se as garantias de 95%, 90% e 85% para as demandas primária, secundária e terciária, respectivamente. As vazões correspondentes a essas garantias foram calculadas em cada PC com usuário existente e utilizadas no processo de outorga como vazões máximas outorgáveis a cada prioridade no PC correspondente. Adotando esse procedimento, pretendeu-se verificar o impacto no atendimento das demandas existentes na bacia da implementação do processo de outorga utilizando esse critério.

Caso a demanda existente de determinada prioridade no referido PC fosse superior a vazão outorgada pelo critério, a garantia que lhe foi conferida seria inferior àquela que foi base para o estabelecimento da vazão a ser outorgada (95%, 90% ou 85%). Caso contrário, sua garantia seria superior à desejada.

Como esse critério requer a utilização de um modelo de simulação, maiores detalhes e demais considerações são mostradas no item 4.2.7 (a), no qual é apresentada e discutida sua aplicação na bacia.

4.2.6 Definição dos Cenários

Visando elaborar um diagnóstico da situação dos recursos hídricos na bacia do rio Gramame, Paiva (2001) simulou, além do cenário atual, diversos cenários de infra-estrutura e

regras operacionais que melhorassem o suprimento das demandas nos horizontes do plano (2000, 2005, 2010 e 2020). No referido estudo, foi constatado que a infra-estrutura atual não é capaz de suprir o sistema de forma social e economicamente satisfatória, propondo as seguintes modificações (detalhadas no item 3.4.2 do Capítulo 3) para minimizar as falhas no atendimento das demandas:

- Construção do reservatório Mumbaba (PC 42) nos anos de 2005, 2010 e 2020;
- Construção de reservatório no Alto Gramame (PC 347) no ano de 2020;
- Importação de água da bacia Abiaí-Papocas no ano de 2020;
- Adoção de nível de racionamento de 25% e 50% do volume útil no sistema Gramame-Mamuaba e no reservatório planejado Mumbaba. Nível de racionamento, ou de alerta, é o nível abaixo do qual são feitas restrições às demandas supridas pelo reservatório.

Como a construção do reservatório no Alto Gramame e a importação de água da bacia Abiaí-Papocas estão previstas apenas para 2020, estas modificações não foram consideradas nesse estudo. Além disso, o reservatório Mumbaba, embora constatada a urgência de sua construção para 2005, atualmente ainda não foi implementado.

Considerando esses fatores e não esquecendo do objetivo primordial desse estudo, que é a avaliação do impacto da adoção de critérios de outorga (Tabela 4.5) no atendimento das demandas da bacia do rio Gramame, a curto prazo, optou-se pelas 4 configurações de infra-estrutura, demanda e regra operacional apresentadas na Tabela 4.10.

TABELA 4.10. Configurações (infra-estrutura, demanda e regra operacional) analisadas na bacia do rio Gramame.

Configuração	Descrição
<i>1</i>	Demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual.
<i>2</i>	Demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 600l/s.
<i>3</i>	Demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 600l/s.
<i>4</i>	Demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 1.000l/s + nível de alerta de 50% (abaixo desse nível atendendo apenas demanda primária).

Vale ressaltar que a escolha dessas configurações para análise é uma das incertezas com as quais o planejador de recursos hídricos é obrigado a se deparar no processo de tomada de decisão, sendo sua capacidade técnica e experiência profissional fatores determinantes para que a escolha seja a mais próxima possível do futuro.

Assim, definidas as situações de provável ocorrência em curto prazo na bacia do rio Gramame (Tabela 4.10), para a análise da implementação da outorga foram empregados os critérios de determinação da vazão máxima outorgável da Tabela 4.5 em cada configuração, resultando nos cenários apresentados nas Tabelas 4.11 a 4.14.

TABELA 4.11. Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 1 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual).

Critério	Cenário
Critério da Vazão de Referência com 1 valor de Q_{90}	1VR_1
Critério da Vazão de Referência com 2 valores de Q_{90}	2VR_1
Critério da Vazão de Referência com 12 valores de Q_{90}	12VR_1
Critério da Vazão Excedente	VE_1
Critério da Garantia de Suprimento	GS_1

TABELA 4.12. Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 2 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 600l/s).

Critério	Cenário
Critério da Vazão de Referência com 1 valor de Q_{90}	1VR_2
Critério da Vazão de Referência com 2 valores de Q_{90}	2VR_2
Critério da Vazão de Referência com 12 valores de Q_{90}	12VR_2
Critério da Vazão Excedente	VE_2
Critério da Garantia de Suprimento	GS_2

TABELA 4.13. Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 3 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 600l/s).

Critério	Cenário
Critério da Vazão de Referência com 1 valor de Q_{90}	1VR_3
Critério da Vazão de Referência com 2 valores de Q_{90}	2VR_3
Critério da Vazão de Referência com 12 valores de Q_{90}	12VR_3
Critério da Vazão Excedente	VE_3
Critério da Garantia de Suprimento	GS_3

TABELA 4.14. Cenários para análise dos critérios de outorga na Configuração 4 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda para GJP de 1.000l/s + nível de alerta de 50%).

Critério	Cenário
Critério da Vazão de Referência com 1 valor de Q_{90}	1VR_4
Critério da Vazão de Referência com 2 valores de Q_{90}	2VR_4
Critério da Vazão de Referência com 12 valores de Q_{90}	12VR_4
Critério da Vazão Excedente	VE_4
Critério da Garantia de Suprimento	GS_4

4.2.7 Simulação Hidrológica dos Diversos Cenários e Critérios

Para simular os cenários das Tabelas 4.11 a 4.14, visando a análise dos critérios de outorga a serem empregados na bacia do rio Gramame, foi utilizado o modelo PROPAGAR

MOO. Conforme dito no Capítulo 2, isso se deveu às vantagens e ferramentas por ele oferecidas (item 2.11), além da maior experiência da autora com o referido modelo.

Neste modelo, foram usados o intervalo de simulação mensal e o nível crítico de falhas de 90%. As séries de vazões incrementais foram obtidas com base nas séries naturais de 17 anos (1972 a 1988) geradas pelo AÇUMOD. Essa e demais informações necessárias para a simulação com o PROPAGAR MOO foram detalhadas nos itens anteriores.

A Figura 4.1 mostra a bacia do rio Gramame implementada no PROPAGAR MOO, utilizando a discretização definida no item 4.2.2, com as demandas já implementadas nos PCs para a configuração 2 da Tabela 4.10. Nesta figura, foram inseridas a legenda e a identificação dos PCs para melhor entendimento.

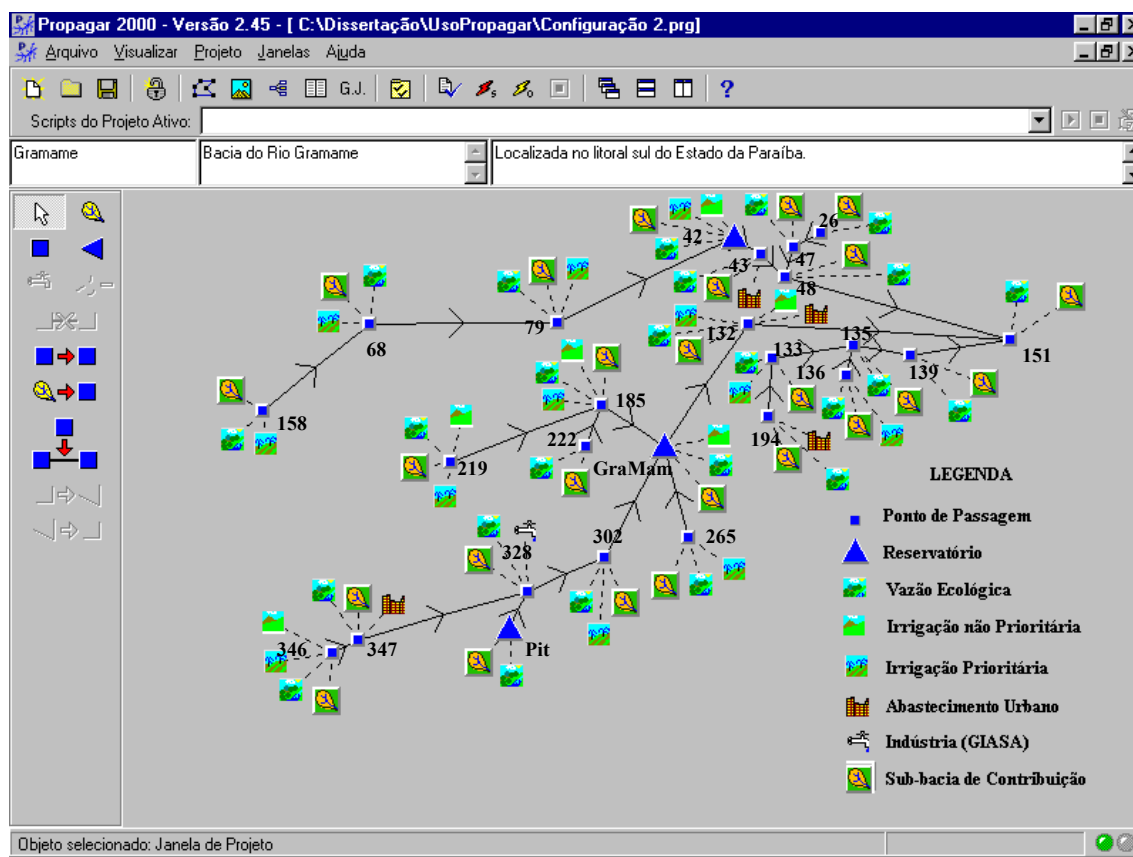


FIGURA 4.1. Representação da bacia do rio Gramame no PROPAGAR.

Para a obtenção do volume inicial de simulação dos reservatórios foi desenvolvido um programa em linguagem Delphi 6 que simula a operação do reservatório e retorna o volume do reservatório obtido ao final da simulação dos seis primeiros anos.

Os volumes obtidos são mostrados na Tabela 4.15.

TABELA 4.15. Cota e volume iniciais de simulação dos reservatórios da bacia do rio Gramame.

Reservatório	Cota Inicial de Simulação (m)	Volume Inicial de Simulação (hm ³)
<i>Gramame-Mamuaba</i>	25,77	8,29571
<i>Pitanga</i>	81,27	0,3724
<i>Mumbaba (planejado)</i>	18,84	4,7125

As demais informações sobre os reservatórios da bacia estão disponíveis no Anexo 1, conforme dito no Capítulo 3.

a) Simulação da Outorga Quantitativa

De acordo com a Equação (2.1) do Capítulo 2, a alocação da água entre os seus usuários deve ser tal que:

$$\sum_{i,j} (\alpha_i \cdot Q_{capta_{i,j}}) \leq Q_{\max \text{ outorgavel}_j}$$

Assim, antes de proceder à simulação dos critérios de determinação da vazão máxima outorgável, é necessário o conhecimento das vazões que poderão ser alocadas às demandas primárias, secundárias e terciárias existentes no PC ($Q_{capta_{i,j}}$), de acordo com o critério em questão, de forma que obedeça à equação acima.

Com esse intuito, o PROPAGAR MOO foi também utilizado para todos os cenários, considerando como disponibilidades nos PCs as vazões máximas outorgáveis relativas a cada critério.

Critério da Vazão de Referência

As vazões Q_{90} (Tabela 4.6) calculadas com base nas séries de vazões naturais não podem ser usadas como vazões máximas outorgáveis, uma vez que as vazões outorgadas nos PCs de montante devem ser descontadas. Além disso, para uso do modelo PROPAGAR MOO na alocação da água, devem ser fornecidas as séries de vazões das sub-bacias incrementais de cada PC. Por tudo isso, a vazão Q_{90} incremental de cada PC foi calculada.

Embora a consideração da vazão máxima outorgável como a vazão Q_{90} incremental seja mais simples de operacionalizar, uma vez que não necessita de simulação hidrológica da bacia, por sua vez, poderá agravar ainda mais a principal crítica ao critério da vazão de referência (item 2.7.1 do Capítulo 2). Considerando que a vazão incremental de uma bacia

somente poderá ser utilizada no PC em questão, os usuários a jusante poderão ter carências de água ocasionadas pela não concessão de outorgas das águas que não foram utilizadas nos PCs de montante (op cit.).

Para a alocação da água entre os usos considerando essas vazões não utilizadas nos PCs de montante, a vazão Q_{90} incremental de cada PC foi implementada no PROPAGAR MOO como disponibilidades das sub-bacias incrementais.

Assim, no caso das seções a montante utilizarem toda vazão outorgada e não ocorrerem retornos, a vazão disponível na seção a jusante seria aquela resultante apenas da sub-bacia incremental (Lanna, 1999). Porém, caso as vazões outorgadas nos PCs de jusante não fossem todas consumidas, o restante seria outorgado para os usos a jusante desses PCs, não havendo desperdícios.

No caso dos critérios com 2 e 12 valores de vazão de referência por PC, o procedimento é o mesmo do valor único de Q_{90} , apenas substituindo esse último valor de cada PC pelas 2 ou 12 vazões Q_{90} incrementais, dependendo do critério a ser utilizado. Para os PCs reservatório, em todos os critérios, foram usadas as vazões regularizadas com 90% de garantia (Tabela 4.7).

Obtidas desse modo as vazões a serem outorgadas a cada demanda nos PCs da bacia, novamente o PROPAGAR MOO foi utilizado para simular a situação natural de disponibilidade de água na bacia (série de 17 anos de vazões incrementais), para obtenção dos valores outorgados que são realmente atendidos.

Esse procedimento foi necessário a todos os cenários onde são empregados critérios de vazão de referência.

Critério da Vazão Excedente

Como no critério da vazão excedente as vazões naturais do curso d'água representam o limite de vazão a ser outorgado, apenas foi necessária uma simulação para obtenção dos reais atendimentos das demandas por PC. Apenas atentar que as vazões utilizadas foram as incrementais das séries de 17 anos em cada PC (disponibilidade natural).

Critério da Garantia de Suprimento

Diferente do procedimento adotado nos critérios anteriores, no critério da garantia de suprimento o PROPAGAR MOO foi empregado na busca dos valores de demandas primária, secundária e terciária de cada PC com demandas instaladas, correspondentes às garantias

temporais de 95%, 90% e 85%, respectivamente. Encontrados esses valores, eles foram atribuídos como vazão máxima outorgável a cada demanda.

Para tal, conforme dito no item 4.2.5, as disponibilidades naturais da bacia em cada PC foram consideradas. As demandas às quais serão concedidas outorgas na bacia já se encontram instaladas, por isso, para o cálculo das vazões a serem outorgadas com determinada garantia, partiu-se dos valores dessas demandas em cada configuração.

Com esses valores, o PROPAGAR MOO foi executado para avaliar a quantidade de falhas no atendimento das demandas de cada PC.

Caso as falhas para as demandas existentes resultassem em garantias inferiores às desejadas, as vazões eram reduzidas, em termos percentuais, devido à variabilidade mensal existente nas demandas para irrigação, até a garantia atingir o valor requerido.

Verificado que a demanda já existente na bacia possui garantia superior à almejada, essa demanda não teve seu valor aumentado, porque, para isso, estar-se-ia reservando uma parcela da vazão disponível no PC para um uso ainda não existente, enquanto os existentes, ou de prioridade inferior, ou localizados nos PCs de jusante, não poderiam consumi-lo. Em outras palavras, não seria o mais indicado numa bacia já com tendências a conflitos, como a bacia do rio Gramame, restringir o suprimento de usuários existentes perante possíveis aumentos de outras demandas de maior prioridade ou localizadas mais a montante.

Esse procedimento foi repetido para todos os PCs, de montante para jusante, até a obtenção dos níveis de garantia 95%, 90% e 85% para as demandas primária, secundária e terciária, respectivamente.

Obtidas as vazões a serem outorgadas a cada demanda existente nos PCs da bacia, o PROPAGAR MOO foi novamente utilizado para simular a situação natural de disponibilidade de água na bacia (série de 17 anos de vazões incrementais), para obtenção dos valores outorgados que são realmente atendidos.

Esse procedimento foi necessário a todos os cenários onde é empregado o critério da garantia de suprimento.

b) Rotina de Operação dos Reservatórios

Sendo detectada a insuficiência de água para atendimento às demandas quando o balanço hídrico é efetuado em cada PC, é permitido ao usuário do PROPAGAR MOO introduzir estratégias operacionais, conforme dito no item 2.11.3 do Capítulo 2.

Dessa forma, a água disponibilizada nos reservatórios pode ser distribuída para atender não apenas suas próprias demandas, mas também as dos PCs de jusante.

A regra operacional de zoneamento impõe um tipo de racionamento das demandas, associado ao volume do reservatório (Tröger, 2002). O volume útil do reservatório é dividido em um determinado número de zonas, limitadas por níveis estratégicos, aos quais está vinculado o atendimento das demandas.

Nos cenários da Tabela 4.14, como se pretende estabelecer o nível de racionamento de 50% do volume útil dos reservatórios (abaixo do qual a água será de uso exclusivo das demandas primárias), a regra operacional de zoneamento foi empregada com duas zonas:

- Zona 1: com limite de 50% do volume útil do reservatório, abaixo do qual apenas as demandas primárias serão atendidas;
- Zona 2: com limite de 100% do volume útil, correspondendo aos volumes entre 50% e 100%, quando todas as demandas serão atendidas.

O zoneamento empregado é mostrado na Figura 4.2.

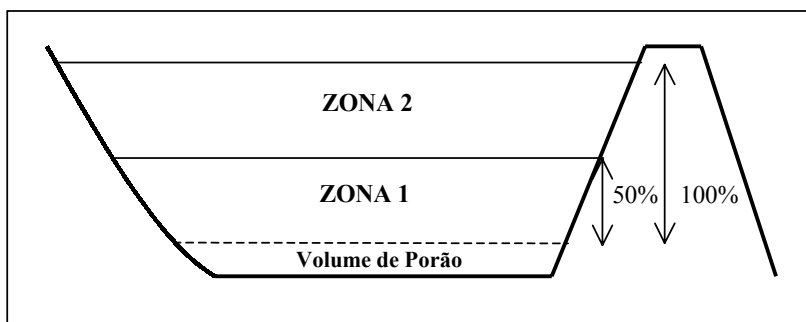


FIGURA 4.2. Regra operacional de zoneamento adotada na bacia do rio Gramame.

FONTE: Adaptado de Tröger (2002).

A regra operacional acima descrita foi implementada no PROPAGAR MOO, em linguagem Pascal Script, através da rotina PLANEJA.

A rotina de zoneamento PLANEJA utilizada foi desenvolvida por Tröger (2002), apenas sendo modificada para consideração da evaporação e da precipitação nos reservatórios. Tal rotina permite a definição dos PCs de jusante cujas demandas se pretende atender. Para o reservatório Gramame-Mamuaba, apenas o PC 132 foi considerado, enquanto para o Mumbaba, admitiu-se o atendimento dos PCs 43 e 48.

Por permitir que sejam definidos os PCs de jusante a serem atendidos pelo reservatório, a rotina de zoneamento PLANEJA também foi usada nos cenários das Tabelas 4.11 a 4.13. Nesses casos, os limites de cada zona foram estabelecidos de forma que todo o volume útil do reservatório pudesse ser usado para o atendimento de quaisquer tipos de demanda. Isso foi possível fazendo o limite da zona 1 igual ao volume mínimo do reservatório

(op cit.). Essa última rotina também foi empregada, em todos os cenários, para o açude Pitanga, considerando apenas o abastecimento do PC 328 (GIASA), uma vez que foi construído para tal finalidade.

c) Priorização dos Usos

A priorização das demandas no PROPAGAR MOO é feita individualmente por cada PC, ou seja, caso haja água para uma demanda de determinada prioridade num PC qualquer, esse usuário a consumirá, independente de haver ou não um uso de prioridade superior no PC de jusante.

Embora seja possível o estabelecimento de priorização em toda a bacia (priorização recursiva), através de rotinas de simulação ou de otimização, a opção da priorização por PC foi usada nas simulações pelas seguintes razões:

- A priorização em toda a bacia é de difícil implementação e aceitação, uma vez que poderá ocasionar em meses nos quais um usuário de prioridade inferior terá de deixar a água passar, sem usufruí-la, para que outro de prioridade superior dos PCs de jusante tenham suas demandas atendidas;
- A operacionalização e fiscalização são complicadas, pois, nos meses nos quais, por exemplo, os usuários de irrigação possam captar apenas X% de sua demanda total, isso tem que ser informado e fiscalizado para cada um desses usuários da bacia.

A principal desvantagem do uso desse procedimento, em detrimento da priorização recursiva, é o fato das demandas de montante que tenham prioridade inferior às de jusante terem suas demandas atendidas, podendo acarretar no desabastecimento dessas últimas. Enquanto, pela priorização recursiva das demandas, inicialmente seria verificado se há água na bacia suficiente para o suprimento de todas as demandas primárias para, em seguida, verificar se é possível o atendimento das demandas secundárias e, finalmente, das terciárias, o que não acontece no procedimento utilizado nesse estudo.

4.2.8 Análise e Comparação dos Resultados

Sabendo que o PROPAGAR MOO, usado na simulação dos cenários das Tabelas 4.11 a 4.14, disponibiliza todos os resultados para cada intervalo de tempo e PC, foi desenvolvido um programa em linguagem Delphi 6 para cálculo de parâmetros de análise.

Conforme mostrado no Capítulo 2 (item 2.12), os critérios de avaliação de desempenho de Hashimoto são bastante eficientes na análise de simulações de sistemas hídricos. Assim, a confiabilidade, a resiliência e a vulnerabilidade foram os parâmetros de análise utilizados nesse estudo, além de outros conceitos, descritos mais adiante.

Tais parâmetros foram calculados com base nas demandas de referência (*DR*) de cada prioridade por PC e nas respectivas demandas atendidas (*DA*), fornecidas pelo PROPAGAR MOO em m³/s. Entretanto, conforme descrito no item 4.2.7, os critérios da vazão de referência (1 Q_{90} , 2 Q_{90} e 12 Q_{90}) e da garantia de suprimento foram simulados no PROPAGAR MOO, com as séries naturais de vazão incremental como disponibilidades na bacia, mas com as demandas requeridas substituídas pelos valores que poderiam ser outorgados segundo cada critério. Isso se deu com o intuito de garantir que, na situação natural de vazão, as demandas utilizadas considerando o critério em questão não fossem superiores às outorgadas. Por isso, nos cálculos que se seguem dos parâmetros de avaliação de desempenho, as *DRs* se referem às reais demandas requeridas pelos usos da água no PC, e não às *DRs* fornecidas pelo PROPAGAR.

A análise e comparação dos resultados, utilizando esses parâmetros, serão apresentadas no Capítulo 5. A seguir, são mostrados os conceitos e as equações que foram base para o cálculo dos parâmetros de análise dos sistemas, através do programa em Delphi 6.

a) Confiabilidade

Em recursos hídricos, a confiabilidade, ou garantia, é definida como a probabilidade de o sistema hídrico atender aos seus objetivos, isto é, atender às demandas. De acordo com a Equação (2.17) do Capítulo 2, a confiabilidade pode ser dada por:

$$\alpha = \text{prob}\{X_t \in S\}$$

No caso de sistemas hídricos, X_t é a vazão atendida da demanda analisada (primária, secundária ou terciária) em determinado PC, no mês t (DA_t). Com isso, o conjunto de saídas satisfatórias S passa a representar os valores de demandas requeridas nos PCs (DR_t), que são os valores de vazão realmente desejados pela demanda em questão, no mês t .

Considerando longo o período de simulação, em percentual, a confiabilidade α será dada por:

$$\alpha = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{t=1}^n Z_t \cdot 100 \quad (4.1)$$

Com Z_t , dado pela Equação (2.18), da seguinte forma:

$$Z_t = \begin{cases} 1, & \text{se } DA_t = DR_t \\ 0, & \text{se } DA_t < DR_t \end{cases} \quad (4.2)$$

Assim, pode-se dizer simplesmente que α é a razão entre o número de intervalos de tempo nos quais a demanda é atendida e o intervalo de tempo total (n).

Para o caso em estudo, n é o número de meses da simulação nos 17 anos, que é 204. Entretanto, a demanda para irrigação é exigida apenas em 6 meses do ano, assim, para essa demanda, o período n considerado é de $6 \cdot 17 = 102$.

A garantia calculada segundo a Equação (4.1) é aqui denominada de garantia temporal.

Entretanto, para permitir uma melhor análise dos resultados das simulações, também foram calculadas as chamadas garantia volumétrica e garantia crítica temporal.

Garantia Volumétrica

A garantia volumétrica, de forma distinta da garantia temporal, é dada pela razão entre o somatório do volume atendido de determinada demanda, em todo o período, e o volume total de referência, necessário ao atendimento total da demanda no mesmo período. Assim, a garantia volumétrica total (α_V) pode ser representada matematicamente pela equação:

$$\alpha_V = \frac{\sum_{t=1}^n (VDA_t)}{\sum_{t=1}^n (VDR_t)} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Onde: VDA_t é o volume atendido de determinada demanda no mês t ;

VDR_t é o volume de referência de determinada demanda no mês t .

Como os resultados do PROPAGAR MOO usados para o cálculo dos parâmetros são as vazões DR_t e DA_t , em m^3/s , os volumes em m^3 da Equação (4.3) dados em função desses valores são:

$$VDA_t = DA_t \cdot dias_t \cdot 24.60.60 \quad (4.4)$$

$$VDR_t = DR_t \cdot dias_t \cdot 24.60.60 \quad (4.5)$$

Onde: $dias_t$ é o número de dias do mês t em questão.

Desse modo, a garantia volumétrica α_V é o percentual que é atendido do volume total requerido pela demanda.

Garantia Crítica Temporal

De forma similar à garantia temporal para uma demanda de determinado PC, a garantia crítica temporal α_C é dada pela Equação (4.1). Entretanto, a variável Z_t , dada segundo a Equação (4.2), é alterada para a seguinte forma:

$$Z_t = \begin{cases} 1, & \text{se } \alpha_t \geq NC \\ 0, & \text{se } \alpha_t < NC \end{cases} \quad (4.6)$$

Onde: NC é o nível crítico de falhas volumétricas mensais, estabelecido nesse estudo como 90%;

α_t é a garantia volumétrica da demanda no mês t .

A garantia α_t é calculada da mesma forma que a garantia volumétrica (α_V), apenas o intervalo de tempo é alterado para o mês, resultando na seguinte equação:

$$\alpha_t = \frac{VDA_t}{VDR_t} \cdot 100 \quad (4.7)$$

Assim, pode-se dizer que a garantia crítica temporal é a probabilidade de não ocorrerem falhas críticas para a demanda em questão. Dessa forma:

- se $\alpha = \alpha_C$, \Rightarrow toda falha da demanda é crítica;
- se $\alpha < \alpha_C$, \Rightarrow ocorrem falhas não críticas da demanda.

b) Resiliência

Na análise de sistemas hídricos, a resiliência γ representa a capacidade que o mesmo possui de se recuperar de uma falha, uma vez que esta (ou estas) tenham ocorrido.

Assim, o indicador de transição de um estado satisfatório para um não satisfatório (W_t) da Equação (2.19) do Capítulo 2 passa a ser dado por:

$$W_t = \begin{cases} 1, & \text{se } DA_t = DR_t \text{ e } DA_{t+1} < DR_{t+1} \\ 0, & \text{demais casos} \end{cases} \quad (4.8)$$

As demais equações do item 2.12.2 do Capítulo 2, para o cálculo da resiliência, permanecem com as mesmas formulações, apenas ressaltando que a variável Z_t da Equação (2.21) deve ser calculada pela Equação (4.2), uma vez que esta teve por base o conceito de confiabilidade de Hashimoto.

Assim, a medida da resiliência pode ser estimada como apresentado na Equação (2.23):

$$\gamma = \frac{\rho}{1-\alpha}$$

Entretanto, deve-se lembrar que a garantia α que consta na equação acima é também a garantia baseada na concepção de confiabilidade, ou seja, a garantia temporal dada pela Equação (4.1).

c) Vulnerabilidade

Conforme dito no Capítulo 2, a vulnerabilidade do sistema se refere às prováveis magnitudes das falhas, caso elas ocorram.

Em sistemas hídricos, a vulnerabilidade pode ser dada como o valor esperado do déficit de atendimento da demanda em questão, na ocorrência de falha. Considerando o Z_t dado pela Equação (4.2), a vulnerabilidade de uma demanda (ν) pode ser calculada como o volume médio que deixa de ser atendido na ocorrência de uma falha:

$$\nu = \frac{\sum_{t=1}^n (VDR_t - VDA_t)}{n - \sum_{t=1}^n Z_t} \quad (4.9)$$

d) Garantia Volumétrica Mensal Mínima

Além dos parâmetros de Hashimoto e dos demais parâmetros acima descritos, outro critério de análise do desempenho da bacia do rio Gramame foi a garantia mensal mínima (α_M), que é a mínima garantia volumétrica mensal, calculada pela Equação (4.7), observada em todo o período simulado.

4.3 INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE OUTORGA

Nessa segunda parte do estudo, foi introduzida a qualidade da água no processo de outorga, através da outorga da vazão de diluição, conforme previsto no Projeto de Lei Federal nº 1616/99 e na Resolução nº 16/01 do CNRH. Para tal fim, foram adotadas as seguintes etapas metodológicas:

- i. Identificação dos dados, usuários e demandas hídricas;
- ii. Discretização da bacia e definição dos Pontos de Controle (PCs);
- iii. Projeção de usos e demandas;
- iv. Priorização dos usos;
- v. Definição dos cenários, considerando o critério de outorga mais adequado;
- vi. Simulação hidrológica dos diversos cenários;
- vii. Análise e comparação dos resultados.

A abordagem simplificada da qualidade da água e do processo de depuração, não utilizando modelos de qualidade, como o QUAL2E, é justificada pelo objetivo de apenas verificar o impacto da introdução dos aspectos qualitativos nos usuários de água da bacia do rio Gramame, pleiteando seu emprego em curto prazo.

4.3.1 Identificação dos Dados, Usuários e Demandas Hídricas

Na análise da introdução da qualidade da água no processo de outorga, foram utilizadas as mesmas informações da bacia do rio Gramame referidas no item 4.2.1. Entretanto, às demandas hídricas da bacia foram acrescentadas as referentes ao uso para diluição de despejos.

Para avaliação do impacto do lançamento de poluentes nas águas superficiais da bacia, da mesma forma que seu Plano Diretor, foram consideradas como principais fontes de poluição:

- As cargas poluidoras do Distrito Industrial de João Pessoa, no riacho Mussuré, Baixo Mumbaba (PC 48);
- Os efluentes domésticos do Conde, no rio Água Boa (PC 194);
- Os esgotos domésticos da cidade de Pedras de Fogo, no Alto Gramame (PC 347).

4.3.2 Discretização da Bacia e Definição dos Pontos de Controle

Como pode ser observado no item acima, as fontes de efluentes domésticos e industriais se situam em PCs da discretização adotada na metodologia de avaliação dos critérios de outorga (item 4.2.2). Logo, não foi necessário a definição e o estabelecimento de novos PCs na bacia, permanecendo os mesmos do referido item.

4.3.3 Projeção dos Usos e Demandas

Como as projeções das demandas para abastecimento urbano, irrigação, indústria e vazão ecológica foram mostradas anteriormente, aqui são apenas discutidas as referentes às demandas para diluição de despejos.

Na Tabela 3.13 do Capítulo 3, foram expostas as vazões médias de esgoto e as cargas orgânicas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por PC, lançadas na bacia do rio Gramame.

Embora o objetivo desse estudo não seja a quantificação de carga específica de DBO ou a medição de seu impacto no corpo receptor, este foi o parâmetro escolhido para essa abordagem simplificada da qualidade da água na outorga na bacia do rio Gramame, porque:

- A DBO é representativa dos esgotos domésticos e um dos elementos mais presentes nos diferentes tipos de indústrias;
- A DBO é um parâmetro de fácil mensuração, quando comparado a outros parâmetros de quantificação de matéria orgânica;
- Os dados de concentração de DBO estão disponíveis na bacia do rio Gramame, com o monitoramento da qualidade dos corpos hídricos superficiais sendo efetuados até hoje;
- Escolhendo-se somente um parâmetro de qualidade da água, elimina-se a complexidade inerente à caracterização e quantificação dos efluentes, que impõem o problema da escolha de parâmetros, da sua agregação e do sistema de ponderação que os hierarquiza.

Dessa forma, nos itens que se segue, o único parâmetro de qualidade da água considerado é a DBO. A desvantagem do uso do parâmetro DBO na representação do aspecto qualitativo da água é que apenas o comportamento das cargas orgânicas na mesma é mostrado, sendo ignorados os aspectos bacteriológico, químico e físico. Esses importantes aspectos das águas destinadas ao consumo humano poderiam ser representados, por exemplo,

pelos coliformes fecais (indicadores da presença de microorganismos patogênicos), pelo pH e pela turbidez, respectivamente.

a) Vazão de Diluição para os Efluentes Domésticos e Industriais

A vazão de diluição foi usada para representar, no processo de outorga, as demandas das cargas orgânicas lançadas na bacia, devido às vantagens que oferece nesse processo, mostradas no item 2.9.3 do Capítulo 2.

De acordo com a Equação (2.9) do mesmo capítulo, a vazão de diluição pode ser calculada a partir da carga orgânica lançada ($Cg_{i,j,k}$) e da concentração máxima permitida pelo enquadramento ($Cenq_{j,k}$):

$$Q_{dilui_{i,j,k}} = \frac{Cg_{i,j,k}}{Cenq_{j,k}}$$

No entanto, a equação acima parte da premissa de usar apenas a vazão do curso d'água em j para diluir a carga do poluente k , ignorando a diluição dessa carga promovida pela correspondente vazão de lançamento $Q_{efl_{i,j,k}}$. Assim, a equação da vazão de diluição foi alterada para a seguinte forma:

$$Q_{dilui_{i,j,k}} + Q_{efl_{i,j,k}} = \frac{Cg_{i,j,k}}{Cenq_{j,k}}$$

$$Q_{dilui_{i,j,k}} = \frac{Cg_{i,j,k} - Q_{efl_{i,j,k}} \cdot Cenq_{j,k}}{Cenq_{j,k}} \quad (4.10)$$

Assim, com a modificação da vazão de diluição para a Equação (4.10), a demanda para diluição requisitada por cada usuário é reduzida sem seu comprometimento e ainda liberando vazão para novos usuários. Como nos PCs com demanda requerida para diluição de poluentes há apenas um usuário dessa categoria de demanda, o índice i da equação anterior foi removido e, substituindo k por DBO, tem-se:

$$Q_{dilui_{j,DBO}} = \frac{Cg_{j,DBO} - Q_{efl_{j,DBO}} \cdot Cenq_{j,DBO}}{Cenq_{j,DBO}} \quad (4.11)$$

Com base na Equação (4.11), nos valores de vazão de lançamento e carga orgânica de DBO da Tabela 3.13 do Capítulo 3, e no enquadramento dos cursos d'água da bacia (item 3.6.5 do mesmo capítulo), foram obtidas as demandas para diluição por PC, mostradas na Tabela 4.16.

TABELA 4.16. Vazão de diluição requerida por PC e dados necessários ao seu cálculo.

Ponto de Lançamento ou PC (j)	Hipótese	Carga de Orgânica de DBO ($Cg_{j,DBO}$), em toneladas/mês	Vazão de Lançamento ($Q_{efl,j,DBO}$), em l/s	Classe de Enquadramento do Curso D'água em j	Concentração Máxima Permitida ($Cenq_{j,DBO}$), em mg/l de O ₂	Vazão de Diluição ($Q_{dilui,j,DBO}$), em l/s
48	-	66,173	40	3	10	2.512,97
194	I	0,840	1,1	3	10	31,31
	II	40,000	50	3	10	1.493,21
347	I	1,900	2,4	1	3	249,66
	II	40,000	50	1	3	5.094,03

Os valores de vazão de diluição acima foram admitidos constantes em todo o período de simulação.

Embora, de acordo com a Diretriz 201 do Estado da Paraíba, não seja permitido o lançamento de efluentes em rios da Classe 1, usamos a concentração máxima permitida de DBO da referida classe para limitar o lançamento de efluentes da cidade de Pedras de Fogo (PC 347). Foi feita essa consideração porque no PC imediatamente a jusante, o rio passa a ser enquadrado como de Classe 2 (problema que é tratado mais adiante).

b) Vazão de Diluição Requerida pelo Curso d'Água

Observa-se que o cálculo da vazão de diluição pressupõe que toda a capacidade de assimilação do curso d'água no PC j esteja disponível para diluir k , ou seja, que a concentração de DBO na seção ou PC j do rio seja nula antes do lançamento de poluentes.

Porém, a concentração de DBO no rio pode diferir de zero, variando a cada intervalo de tempo. Como para a implementação e operacionalização da vazão outorgada para diluição em função da vazão do rio acarretaria em variações desse valor a cada instante, e é necessário, no ato da outorga, que o usuário seja informado desse valor de vazão, aqui foi adotada uma simplificação.

As observações de DBO resultantes do monitoramento da qualidade dos cursos d'água foram consideradas como demandas para diluição dos poluentes do próprio rio, com prioridade superior à dos efluentes lançados pelos usuários, uma vez que não há a opção de não supri-las. Dessa forma, ficará impedindo o lançamento de efluentes pelo usuário acima da real capacidade de assimilação do rio, que pode ser inferior à permitida pelo enquadramento.

Conforme observado na Figura 3.6 do Capítulo 3, algumas estações de monitoramento da qualidade da água, por se localizarem a jusante do lançamento dos efluentes, contemplam esses lançamentos nas medições de concentração de DBO, tornando evidente a necessidade de análise de cada caso.

No caso do lançamento dos esgotos do Distrito industrial de João Pessoa (PC 48), a estação de amostragem representativa da qualidade da água no curso d'água, antes do lançamento dos efluentes, é a MB 01, uma vez que a MS 03 computa esses efluentes. As médias mensais das medições de concentração de DBO na estação MB 01, entre os anos de 1993 e 2001, são apresentadas na Tabela 4.17.

TABELA 4.17. Médias das medições mensais de concentração de DBO na estação MB 01, em mg/l.

Concentração de DBO (mg/l)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,614	0,457	1,117	0,978	0,433	2,286	1,633	0,314	0,363	0,650	0,300	0,875

FONTE: SUDEMA (2002).

Pela observação da referida Figura 3.6, verifica-se que a estação AB 01 é a mais indicada para representar a situação do rio Água Boa, antes do lançamento dos efluentes do município do Conde (PC 194). Entretanto, nos registros desta estação de amostragem apenas é fornecida a concentração de DBO média do ano de 1999, que é de 0,9 mg/l de O₂, valor usado nesse estudo.

Quanto ao lançamento dos efluentes domésticos do município de Pedras de Fogo (PC 347), a única estação de monitoramento de qualidade da água (GR 00) se encontra a jusante do ponto de lançamento. E mesmo para esta estação, não há disponibilidade de medições de concentração de DBO. Logo, conforme recomendações do Plano Diretor da bacia para cursos d'água não contemplados pelo monitoramento (item 3.6.5 do Capítulo 3), foi usada a concentração de DBO de 2 mg/l de O₂.

Embora os poucos registros existentes para as seções de interesse se baseiem em medições efetuadas entre 1993 e 2001, os mesmos não foram acompanhados por registros de vazão. Por isso, para o cálculo da vazão de diluição necessária ao próprio rio, foram usadas as médias mensais das vazões naturais geradas pelo AÇUMOD para o período entre 1972 e 1988. Essa simplificação se justifica pela ausência de dados e pelo único objetivo de verificação do grau de influência da poluição já existente nos cursos d'água no atendimento da diluição dos efluentes domésticos e industriais.

Considerando os valores acima de concentração de DBO e vazão no curso d'água, e conhecendo as concentrações máximas permitidas pelas classes correspondentes aos PCs 48, 194 e 347 (Tabela 4.16), é possível calcular a vazão de diluição requisitada mensalmente pelo próprio rio nessas seções, através da Equação (2.8) do Capítulo 2.

As demandas para diluição calculadas dessa forma são mostradas na Tabela 4.18.

TABELA 4.18. Vazão de diluição mensal requerida pelo curso d'água, em l/s.

PC	Demandas Hídricas (l/s)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
48	46,72	50,21	238,03	284,28	167,76	1.113,28	901,01	96,13	83,78	50,91	20,09	55,24
194	11,10	16,01	30,70	40,36	56,25	71,87	81,38	46,85	33,61	10,46	9,84	9,90
347	36,30	61,27	144,99	191,45	225,46	307,98	378,46	191,80	155,58	44,98	42,20	33,65

Os valores da tabela acima foram admitidos constantes para todo o período de simulação (1972 a 1988).

c) Vazão de Diluição Não Conservativa

Conforme o conceito de vazão de diluição apresentado acima, as demandas para diluição de despejos e dos poluentes do próprio rio funcionam como demandas consutivas, isto é, impedem o uso da água para outras finalidades, uma vez que comprometem aquele volume de água.

Entretanto, sabe-se que a DBO é um parâmetro não conservativo, ou seja, cuja concentração tende a decrescer com a distância ao ponto de lançamento e com o tempo, dependendo da capacidade de assimilação do rio.

Como a utilização de modelos de qualidade da água foge ao escopo deste trabalho, que visa a introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga para avaliação do seu impacto sobre as demandas já instaladas na bacia, adotou-se o procedimento simplificado descrito adiante.

Para representar a autodepuração dos poluentes lançados nos cursos d'água da bacia do rio Gramame, pensou-se em coeficientes de depuração que, multiplicados pelos valores de concentração de DBO atendidas, fornecessem o valor da DBO remanescente, tornando possível o cálculo da vazão liberada para outros usos nos PCs de jusante. Embora essa seja uma aproximação grosseira do processo de depuração, permite a liberação da água utilizada pela vazão de diluição para outros usuários, através de fatores fixos preestabelecidos.

Em virtude do processo de autodepuração dos efluentes do Distrito Industrial de João Pessoa (lançados no PC 48) não se encontrar a montante de usuários de água, apenas foi avaliada a relevância da consideração da capacidade depurativa da DBO nos pontos 194 e 347, bem como nos que se encontram a jusante destes. Os coeficientes de depuração foram obtidos com base nos perfis de DBO dos cursos d'água Água Boa e Gramame, disponíveis em SEMARH (2000) e apresentados nas Figuras 4.3 e 4.4, respectivamente. Isso se deu pela ausência de dados mais realistas sobre o processo de depuração.

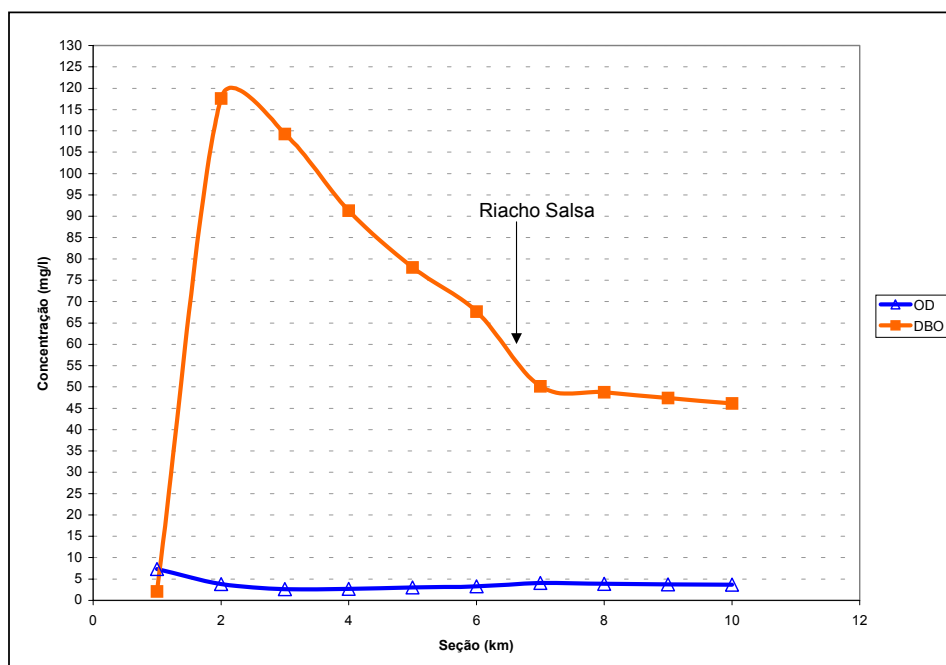


FIGURA 4.3. Gráfico de OD e DBO no cenário AB2.
FONTE: SEMARH (2000).

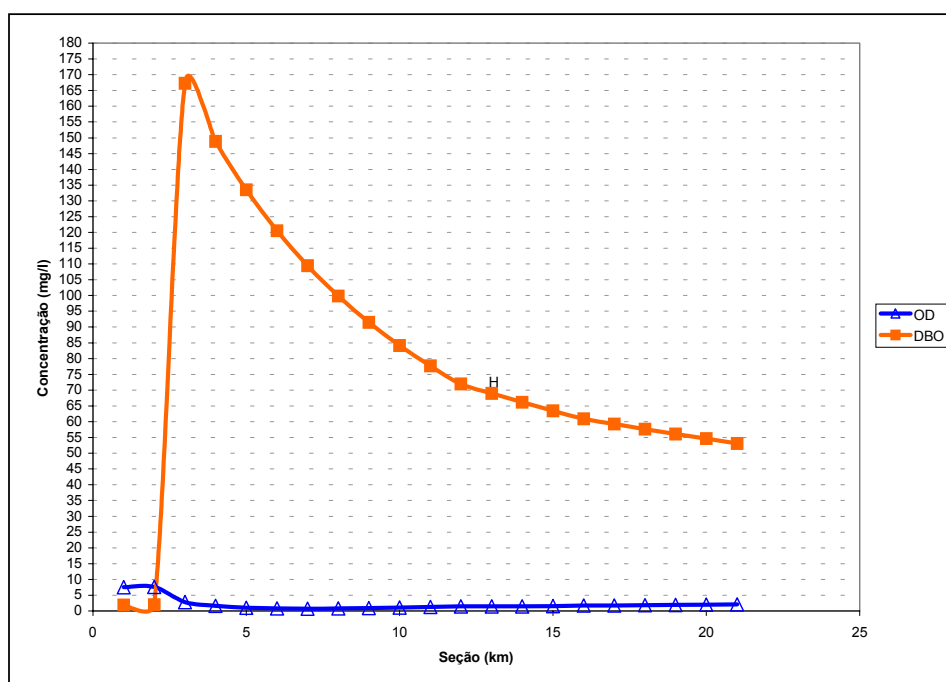


FIGURA 4.4. Gráfico do OD e DBO para o cenário AG5.
FONTE: SEMARH (2000).

Os cenários AB2 e AG5 constam na Tabelas 3.14 e 3.15 do Capítulo 3, respectivamente. Por sua vez, a Tabela 4.19 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para os dois cenários.

TABELA 4.19. DBO nos diversos trechos dos rios Água Boa e Gramame, para os cenários AB2 e AG5.

Cenário	Trecho	Comprimento do Trecho (km)	Concentração (mg/l)			Violação Máxima (mg/l)	Trecho com violação (km)	% trecho sob violação
			Mínima	Média	Máxima			
AB2	1	3	2,08	76,32	117,61	117,61	2	67%
	2	3	67,66	76,32	117,61	117,61	3	100%
	3	1	50,12	50,12	50,12	50,12	1	100%
	4	3	46,15	47,45	48,76	48,76	3	100%
AG5	1	2	1,92	1,98	2,04	0	0	0%
	2	10	71,96	110,5	167,25	167,25	10	100%
	3	4	60,87	64,85	68,97	68,97	4	100%
	4	5	53,08	56,14	59,24	59,24	5	100%
	5	8	1,75	1,826	1,94	0	0	0%

FONTE: SEMARH (2000).

De acordo com a Figura 4.1, os PCs para os quais serão liberadas vazões pelo processo de autodepuração do rio Água Boa (PC 194) são: 133, 135, 139 e 151. Desses pontos, apenas o PC 133 possui usuários, com os demais apenas contemplando a vazão ecológica. No caso do rio Gramame, foram considerados os PCs 347, 328, 302 e GraMam.

Considerando os perfis de DBO do rio Água Boa e do Alto Gramame (Figuras 4.3 e 4.4), e localizando os respectivos PCs afetados nesses perfis, foi possível obter a concentração de DBO remanescente no curso d'água ($Crem_{j,DBO}$) referente a cada um dos citados PCs.

O coeficiente de depuração da DBO entre as seções $j-1$ e j ($\eta_{j-1 a j, DBO}$) foi obtido pela razão entre a concentração de DBO do PC de jusante do trecho em questão ($Crem_{j,DBO}$) e concentração $Crem_{j-1,DBO}$ do PC de montante, ou seja:

$$\eta_{j-1 a j, DBO} = \frac{Crem_{j,DBO}}{Crem_{j-1,DBO}} \quad (4.12)$$

Com base na Equação (4.12) e nas Figuras 4.3 e 4.4, foram obtidos os coeficientes de depuração da DBO, mostrados na Tabela 4.20.

TABELA 4.20. Coeficientes de DBO nos diversos trechos dos rios Água Boa e Gramame, para os cenários AB2 e AG5.

Cenário	PC de montante	PC de jusante	Coefficiente de depuração
AB2	194	133	0,8125
	133	135	0,5128
	135	139	0,9240
	139	151	0,9810
AG5	347	328	0,4176
	328	302	0,8700
	302	GraMam	0,8400

Retornando à Equação (4.12), verifica-se que, de posse do valor da concentração de DBO lançada no curso d'água, é possível calcular a DBO remanescente nos PCs de jusante pela aplicação sucessiva da equação:

$$Crem_{j,DBO} = \eta_{j-1 a j, DBO} \cdot Crem_{j-1, DBO} \quad (4.13)$$

Observa-se que a Equação (4.13) é similar à Equação (2.5) do Capítulo 2, admitindo constante o termo $e^{-K_1 t}$ e igual a $\eta_{j-1 a j, DBO}$, ou seja, assumindo como constante o tempo de percurso t entre $j-1$ e j , uma vez que o coeficiente de desoxigenação K_1 é fixo.

Então, a vazão a ser liberada no PC de jusante para novos usos, é calculada pela Equação (4.11), com base na concentração da DBO depurada no trecho entre os PCs $j-1$ e j ($Clib_{j-1 a j, DBO}$):

$$Clib_{j a j-1} = Crem_{j-1, DBO} - Crem_{j, DBO} \quad (4.14)$$

Substituindo a Equação (4.13) em (4.14):

$$Clib_{j a j-1} = (1 - \eta_{j a j-1, DBO}) \cdot Crem_{j-1, DBO} \quad (4.15)$$

O procedimento de cálculo da concentração de DBO atendida é apresentado no item de simulação hidrológica dos cenários.

4.3.4 Priorização dos Usos

Com a consideração da vazão de diluição como demanda, é necessário o estabelecimento de uma nova hierarquização dos usuários da água na bacia do rio Gramame.

A nova priorização, também procurando respeitar as determinações do Decreto Estadual nº 19.260/97 e os condicionantes da bacia, foi definida como:

- Primária: Abastecimento urbano e vazão ecológica;
- Secundária: Irrigação de culturas perenes (fruticultura) e outras culturas importantes para a segurança alimentar dos pequenos agricultores, além da agroindústria GIASA;
- Terciária: Irrigação da cana-de-açúcar;
- Quaternária: Diluição dos poluentes do próprio rio.
- Quinquenária: Lançamento de efluentes domésticos e industriais.

4.3.5 Definição dos Cenários

Diante da ampla gama de critérios de outorga passíveis de serem analisados (Tabela 4.5), na introdução da vazão de diluição como demanda optou-se por empregar apenas o critério da vazão excedente. Isto se deve ao fato de que este é o critério de outorga no qual a vazão máxima outorgável varia de acordo com a disponibilidade hídrica do curso d'água, no período em questão. Assim, por permitir um maior uso do potencial hídrico da bacia, foi possível atentar quando não havia capacidade de suprimento da vazão de diluição pelas limitações físicas e pluviométricas da própria bacia, e não por limitação do critério de outorga empregado, como ocorreria caso os demais critérios fossem usados.

Conforme o item anterior, a formulação da vazão de diluição da Equação (4.11) não compreende a concentração de DBO já existente no curso d'água e o processo de autodepuração no trecho em questão. Considerando as respectivas propostas para a resolução desses problemas, quais sejam introduzir a concentração de DBO no rio como outro tipo de demanda e a autodepuração através dos coeficientes de depuração, é possível distinguir as possibilidades de análise da Tabela 4.21.

TABELA 4.21. Possibilidades de análise da introdução da vazão de diluição na bacia do rio Gramame.

Possibilidade	Descrição
1	Demanda para diluição da carga de DBO apenas dos lançamentos nos PCs 48, 194 e 347, considerando a formulação da vazão de diluição da Equação (4.11).
2	Demanda para diluição da carga de DBO do rio e dos lançamentos nos PCs 48, 194 e 347, considerando a formulação da vazão de diluição da Equação (4.11).
3	Demanda para diluição da carga de DBO do rio e dos lançamentos nos PCs 48, 194 e 347, considerando a formulação da vazão de diluição da Equação (4.11) e o processo de autodepuração simplificado (coeficientes de depuração).

Considerando as configurações de infra-estrutura, demanda e regra operacional para a bacia do rio Gramame, apresentadas na Tabela 4.10, verifica-se que apenas os anos de 2005 e 2010 são contemplados nesse estudo. Como a vazão de diluição da Tabela 4.16 para a hipótese II, segundo o item 3.6.5 do Capítulo 3, corresponde aos esgotos de Conde e Pedras de Fogo para 2020, esses valores não deveriam ser considerados nos cenários simulados.

Entretanto, para efeito de análise simplificada da capacidade depurativa da DBO, considerou-se a hipótese II no ano de 2010, uma vez que os valores de vazão de diluição liberadas para novos usos pela hipótese I e calculadas com base na concentração dada pela Equação (4.15), seriam valores tão baixos (ver Tabela 4.16), que não afetariam as demandas à jusante do lançamento dos efluentes.

Em suma, a hipótese I foi considerada no ano de 2005 e 2010, e a hipótese II no ano de 2010. Disso e da combinação das Tabelas 4.10 e 4.21, resultaram os cenários de análise das Tabelas 4.22 a 4.25.

TABELA 4.22. Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 1 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual).

Cenário	Descrição			
	Hipótese de Carga e Vazão de DBO	Vazão de Diluição Considerada		
		Demanda dos PCs 48, 194 e 347	Demanda do próprio curso d'água	Vazão liberada pela depuração
CVE 01	-	Não	Não	Não
CVE 02	I	Sim	Não	Não
CVE 03	I	Sim	Sim	Não

TABELA 4.23. Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 2 (demandas hídricas do ano de 2005 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda da GJP de 600l/s).

Cenário	Descrição			
	Hipótese de Carga e Vazão de DBO	Vazão de Diluição Considerada		
		Demanda dos PCs 48, 194 e 347	Demanda do próprio curso d'água	Vazão liberada pela depuração
CVE 04	-	Não	Não	Não
CVE 05	I	Sim	Não	Não
CVE 06	I	Sim	Sim	Não

TABELA 4.24. Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 3 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda da GJP de 600l/s).

Cenário	Descrição			
	Hipótese de Carga e Vazão de DBO	Vazão de Diluição Considerada		
		Demanda dos PCs 48, 194 e 347	Demanda do próprio curso d'água	Vazão liberada pela depuração
CVE 07	-	Não	Não	Não
CVE 08	I	Sim	Não	Não
CVE 09	I	Sim	Sim	Não
CVE 10	II	Sim	Não	Não
CVE 11	II	Sim	Sim	Não
CVE 12	II	Sim	Sim	Sim

TABELA 4.25. Cenários para análise da introdução simplificada da qualidade da água na Configuração 4 (demandas hídricas do ano de 2010 + infra-estrutura atual + reservatório Mumbaba operando com demanda da GJP de 1.000l/s + nível de racionamento de 50%).

Cenário	Descrição			
	Hipótese de Carga e Vazão de DBO	Vazão de Diluição Considerada		
		Demanda dos PCs 48, 194 e 347	Demanda do próprio curso d'água	Vazão liberada pela depuração
CVE 13	-	Não	Não	Não
CVE 14	I	Sim	Não	Não
CVE 15	I	Sim	Sim	Não
CVE 16	II	Sim	Não	Não
CVE 17	II	Sim	Sim	Não
CVE 18	II	Sim	Sim	Sim

Por não haver nenhum sistema de tratamento de esgotos existente para os efluentes lançados na bacia do rio Gramame atualmente, não foram considerados níveis de tratamento dos esgotos.

Como a simulação do parâmetro DBO de forma não conservativa foi efetuada com a hipótese II de carga e vazão de lançamento de DBO, sem nenhum tratamento, foram usados para a determinação dos coeficientes de depuração no rio Água Boa (Cenário CVE_12) os resultados obtidos por SEMARH (2000) para o cenário AB2 da Tabela 3.14 do Capítulo 3. Enquanto, para o Alto Gramame (Cenário CVE_18), foram usados os resultados do cenário AG5, que consta na Tabela 3.15 do referido capítulo. Por isso, o exemplo de cálculo dos coeficientes de depuração do item 4.3.3 teve por base esses dois cenários, cujos resultados foram mostrados na Tabela 4.20.

4.3.6 Simulação Hidrológica dos Diversos Cenários

Para a simulação dos cenários das Tabelas 4.22 a 4.25, utilizando o PROPAGAR MOO, foram empregados os mesmos valores de intervalo de simulação, nível crítico de falhas e demais condições iniciais e dados descritos no item 4.2.7, além dos descritos nos itens anteriores.

a) Introdução da Vazão de Diluição

Com a introdução da vazão de diluição como demanda, foi estabelecida uma hierarquização com 5 níveis de prioridades de demandas, conforme mostrado no item 4.3.4.

No entanto, o modelo PROPAGAR MOO permite, no máximo, três níveis de prioridade. Sabendo que a priorização dos PCs no modelo procede de montante para jusante, a solução desse impasse foi conseguida substituindo por dois PCs o PC no qual havia mais de três prioridades de demandas.

Dessa forma, as demandas de maior prioridade (primária, secundária e terciária) foram implementadas no PC mais a montante e as demais, de menor prioridade, no de jusante (PC fictício). Obviamente, a vazão incremental do PC fictício era nula, o que foi inserido no PROPAGAR MOO através do arquivo de sub-bacia incremental.

Deve-se atentar ainda que, introduzindo no PC fictício apenas demandas para diluição, essas demandas consumiriam a vazão ecológica do PC de montante, uma vez que esta última possui fator de retorno unitário. Por isso, a vazão ecológica (demanda primária) do PC de montante também foi inserida no PC fictício.

b) Simulação da Outorga Quali-Quantitativa

Considerando a vazão de diluição como demanda, no que diz respeito à alocação de água entre seus usos, a representação matemática é, conforme a Equação (2.10) do Capítulo 2:

$$\sum_{i,j} (\alpha_i \cdot Q_{\text{capta}}_{i,j} + \beta_k \cdot Q_{\text{dilui}}_{i,j,k}) \leq Q \text{ max outorgavel total}_j$$

Como o critério de outorga considerado é o da vazão excedente, as próprias vazões naturais incrementais dos PCs, no período de 1972 a 1988, foram o limite máximo de uso da água nas simulações. Em outras palavras, a disponibilidade natural em cada PC foi a $Q_{\text{maxoutorgavel total}}$ no PC correspondente.

Nos cenários cuja DBO foi considerada conservativa, conforme o item 2.9.4 do Capítulo 2, o β_k é unitário. Assim, o PROPAGAR MOO foi empregado normalmente, considerando as demandas para diluição de despejos como consutivas (captações) e fornecendo para cada PC os reais atendimentos de todas as demandas da bacia.

No caso dos cenários com DBO não conservativa, o coeficiente β_k representaria o processo de autodepuração. Entretanto, os coeficientes de depuração da Tabela 4.20 e a Equação (4.13) foram estabelecidos para o cálculo da concentração de DBO remanescente nos PCs de jusante do local de lançamento dos efluentes.

Assim, a alocação de água da equação acima se daria entre a vazão de captação no PC e a vazão de diluição calculada com base nessa concentração de DBO remanescente, ou seja, o coeficiente que representa a autodepuração seria o coeficiente de depuração $\eta_{j-1 a j, DBO}$ e não mais o β_k .

Dessa forma, para $k = DBO$, a equação de alocação se transformou em:

$$\sum_{i,j} (\alpha_i \cdot Q_{\text{capta}}_{i,j} + Q_{\text{dilui}}_{i,j,k, \eta_{j-1 a j, DBO}}) \leq Q \text{ max outorgavel total}_j \quad (4.16)$$

Onde: $Q_{\text{dilui}}_{i,j,k, \eta_{j-1 a j, DBO}}$ é a vazão de diluição para o parâmetro k remanescente (calculado com base no coeficiente de depuração $\eta_{j-1 a j, DBO}$), requisitada pelo usuário i , na seção ou PC j .

A alternativa concebida para introdução da Equação (4.16) no PROPAGAR MOO é descrita no próximo item.

c) Simulação da Autodepuração do Curso d'Água

Nesse estudo, a simulação do processo de outorga, considerando a autodepuração no curso d'água, foi concebida de forma que a vazão de diluição atendida num determinado PC diminuísse ao longo do rio, aumentando a disponibilidade hídrica para os PCs de jusante.

Uma alternativa para introduzir essa redução da vazão atendida no PROPAGAR MOO seria considerar uma entrada de vazão fictícia (vazão liberada) nos PCs de jusante, correspondente à vazão depurada no trecho em questão.

A Figura 4.5 mostra uma representação esquemática do procedimento adotado, tomando como exemplo o lançamento de efluentes no PC 194.

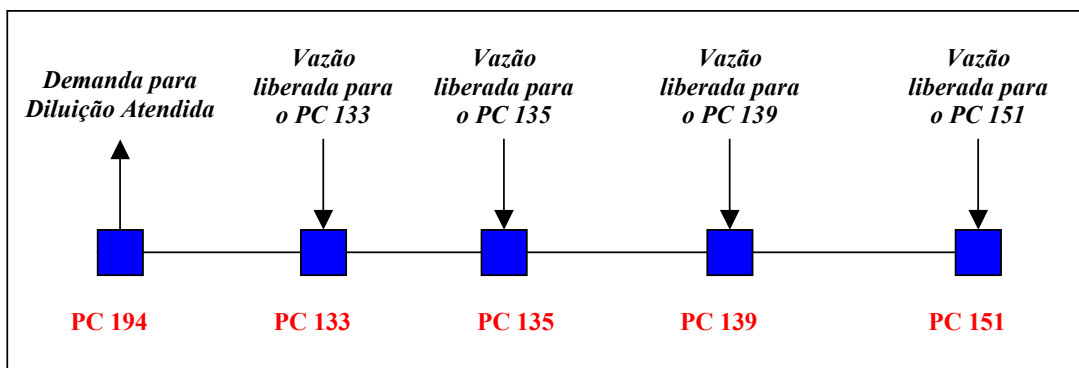


FIGURA 4.5. Representação esquemática da depuração da carga lançada no PC 194 da bacia do rio Gramame.

Entretanto, deve-se saber, a priori, qual é a vazão de diluição atendida no PC em questão, a cada intervalo de tempo. Esses valores foram obtidos na simulação do cenário que difere daquele que se quer simular apenas pela não consideração da autodepuração, uma vez que o PROPAGAR MOO fornece todos os resultados.

De posse dos valores de demanda de diluição da concentração de DBO atendida em $j-1$ ($Qate_{j-1, DBO}$), inicialmente se calculou pela Equação (4.11) a concentração de DBO que foi atendida, apenas substituindo $Cg_{j-1, DBO}$ por $Cate_{j-1, DBO}$. $Qefl_{j-1, DBO}$:

$$Qate_{j-1, DBO} = \frac{Qefl_{j-1, DBO} \cdot Cate_{j-1, DBO} - Qefl_{j-1, DBO} \cdot Cenq_{j-1, DBO}}{Cenq_{j-1, DBO}} \quad (4.17)$$

Onde: $Cate_{j-1, DBO}$ é a concentração de DBO atendida na seção $j-1$.

Deixando a Equação (4.17) em função das variáveis conhecidas a cada intervalo de tempo, tem-se:

$$Cate_{j-1, DBO} = \frac{Cenq_{j-1, DBO} \cdot Qate_{j-1, DBO} + Qefl_{j-1, DBO} \cdot Cenq_{j-1, DBO}}{Qefl_{j-1, DBO}} \quad (4.18)$$

Pela observação da Equação (4.18), verifica-se que quando a vazão de diluição atendida é nula, o mesmo não se verifica com a concentração de DBO atendida em $j-1$, o que poderia resultar em vazão liberada para novos atendimentos, mesmo quando nada tivesse sido atendido. Desse modo, foi necessário fazer a seguinte consideração:

- Se $Qate_{j-1, DBO} = 0 \Rightarrow Cate_{j-1, DBO} = 0$
- Se $Qate_{j-1, DBO} > 0 \Rightarrow Cate_{j-1, DBO} = \frac{Cenq_{j-1, DBO} \cdot Qate_{j-1, DBO} + Qefl_{j-1, DBO} \cdot Cenq_{j-1, DBO}}{Qefl_{j-1, DBO}}$

A partir do valor de concentração de DBO efetivamente atendida em $j-1$, estimou-se a concentração de DBO remanescente no PC de jusante ($Crem_{j, DBO}$) no intervalo de tempo considerado, usando a Equação (4.13) e os coeficientes de depuração da Tabela 4.20.

Caso a concentração $Crem_{j, DBO}$ fosse menor ou igual à concentração máxima permitida pelo enquadramento ($Cenq_{j, DBO}$), obviamente a vazão de diluição correspondente à concentração de DBO remanescente em j ($Qrem_{j, DBO}$) seria nula. Caso contrário, essa vazão seria calculada pela Equação (4.17), considerando a concentração de DBO remanescente:

$$Qrem_{j, DBO} = \frac{Qefl_{j, DBO} \cdot Crem_{j, DBO} - Qefl_{j, DBO} \cdot Cenq_{j, DBO}}{Cenq_{j, DBO}} \quad (4.19)$$

Finalmente, a vazão de diluição da concentração de DBO, que é liberada para novos usos no PC j ($Qlib_{j, DBO}$), é dada pela diferença:

$$Qlib_{j, DBO} = Qate_{j-1, DBO} - Qrem_{j, DBO} \quad (4.20)$$

A cada intervalo de tempo considerado, esse procedimento foi executado para todos os PCs a jusante do lançamento, afetados pela depuração.

No caso da vazão de diluição requisitada pelo próprio rio, a mudança no procedimento é apenas no tocante às equações de cálculo da vazão de diluição, que são representadas pela Equação (2.8) do Capítulo 2, simplificando-o ainda mais.

Assim, os valores de vazão liberada para o PC em questão, a cada intervalo de tempo, foram obtidos pela soma da vazão de diluição liberada dos efluentes e a do próprio rio. Adicionando a vazão liberada total ao arquivo de sub-bacia incremental, em todo o período simulado, foi possível incrementar a vazão de entrada de cada PC afetado pela autodepuração.

Dessa forma, o modelo PROPAGAR MOO simulou a vazão de diluição, considerando o processo de depuração simplificado adotado.

d) Mudança do Enquadramento ao Longo do Curso d'Água

No item 4.3.3 (a) foi dito que, no ponto de lançamento dos esgotos domésticos de Pedras de Fogo (PC 347), o rio se enquadrava na Classe 1 e, a jusante, na Classe 2.

Devido a essa modificação da classe de enquadramento, quando as cargas lançadas no PC 347 (de Classe 1) atingem o PC de jusante (PC 328), há que se liberar parte da vazão de diluição, pois a concentração admitida aumentou de 3 mg/l de O₂ para 5 mg/l de O₂.

A consideração dessa mudança de classe foi introduzida no PROPAGAR MOO de forma similar ao processo de autodepuração, apenas no cálculo da vazão de diluição remanescente nos PCs a jusante do PC 347, através da Equação (4.19), a concentração máxima permitida pelo enquadramento ($C_{enq,j,DBO}$) foi modificada para o novo valor.

Nos cenários onde não foi considerada a autodepuração do curso d'água, como ainda havia mudança na classe de enquadramento, a vazão liberada apenas para o PC 328 foi computada, com o coeficiente de depuração unitário (sem depuração).

4.3.5 Análise e Comparação dos Resultados

Com base nos resultados das simulações (demandas de referência e demandas atendidas) para os cenários das Tabelas 4.22 a 4.25, fornecidos pelo PROPAGAR MOO, foram calculados os parâmetros de análise referidos no item 4.2.8: garantia temporal; garantia volumétrica; garantia crítica temporal; resiliência; vulnerabilidade; e garantia volumétrica mínima mensal.

Da mesma forma que o citado item, tais parâmetros foram calculados pelo programa em linguagem Delphi 6 desenvolvido especificamente para esse estudo.

A análise e comparação dos resultados das simulações, baseada nesses parâmetros, são apresentadas no Capítulo 5.

5

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Conforme apresentado no Capítulo 4, a análise e comparação dos resultados das simulações consistem na última etapa da metodologia empregada.

Pelo grande volume de cenários e, conseqüentemente, parâmetros de desempenho a serem comparados, essa etapa mereceu capítulo próprio.

De forma similar à metodologia adotada, inicialmente são analisados os critérios de outorga na bacia do rio Gramame. Em seguida, discorre-se sobre a introdução da qualidade da água no processo de outorga, através da vazão de diluição.

5.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA

Nesse item, é analisado o impacto da implementação do processo de outorga nas demandas existentes na bacia do rio Gramame, considerando os seguintes critérios de determinação da vazão máxima outorgável:

- Critério da vazão de referência com 1 valor de Q_{90} (1VR);
- Critério da vazão de referência com 2 valores de Q_{90} (2VR);
- Critério da vazão de referência com valores de Q_{90} mensais (12VR);
- Critério da vazão excedente (VE);
- Critério da garantia de suprimento (GS).

5.2.1 Resultados

Os parâmetros de avaliação de desempenho, obtidos para cada cenário das Tabelas 4.11 a 4.14 do Capítulo 4, com base nos resultados do modelo PROPAGAR MOO, são mostrados no Anexo 4.

Antes de proceder à análise desses parâmetros, é interessante apresentar também as vazões outorgadas a cada ponto de controle (PC) da bacia, de acordo com os critérios de outorga considerados.

No entanto, devido à variabilidade mensal das vazões outorgadas, segundo alguns critérios, opta-se por apresentar esses valores em termos de percentual do volume requisitado pela respectiva demanda durante todo o ano.

As Tabelas 5.1 a 5.4 mostram os percentuais dos volumes totais anuais outorgados com relação ao volume total anual de referência (requerido), por ponto de controle (PC) e critério, resultantes da aplicação do modelo PROPAGAR MOO em cada arranjo de infraestrutura, demanda e regra operacional dos reservatórios.

TABELA 5.1. Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 1.

PC	Percentual do volume de referência (%)											
	1VR			2VR			12VR			GS		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	69,13	0,00	100,00	45,02	0,00	100,00	54,57	19,00	100,00	40,50	76,70
43	28,85	-	-	54,50	-	-	58,84	-	-	5,46	-	-
68	100,00	100,00	-	100,00	85,64	-	100,00	66,66	-	100,00	86,50	-
79	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-
132	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
133	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	87,02	-	100,00	100,00	-
136	100,00	100,00	-	100,00	84,14	-	100,00	69,52	-	100,00	100,00	-
158	100,00	0,71	-	100,00	0,00	-	100,00	2,34	-	0,00	0,00	-
185	100,00	100,00	4,57	100,00	100,00	2,24	100,00	84,26	11,29	100,00	95,00	4,50
194	100,00	-	-	100,00	-	-	99,46	-	-	100,00	-	-
219	100,00	100,00	78,08	100,00	86,21	0,67	100,00	90,49	39,51	100,00	67,00	59,00
265	100,00	100,00	-	100,00	94,43	-	100,00	87,68	-	100,00	92,00	-
302	100,00	8,28	-	100,00	6,12	-	100,00	9,69	-	100,00	2,50	-
328	100,00	63,06	-	100,00	50,06	-	100,00	58,34	-	100,00	100,00	-
346	100,00	36,69	0,00	100,00	21,63	0,00	100,00	28,02	14,32	100,00	16,00	9,00
347	55,53	-	-	66,67	-	-	72,64	-	-	22,10	-	-
GraM	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00

TABELA 5.2. Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 2.

PC	Percentual do volume de referência (%)											
	1VR			2VR			12VR			GS		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-
68	100,00	100,00	-	100,00	85,64	-	100,00	66,66	-	100,00	86,50	-
79	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-
132	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
133	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	87,02	-	100,00	100,00	-
136	100,00	100,00	-	100,00	84,14	-	100,00	69,52	-	100,00	100,00	-
158	100,00	0,71	-	100,00	0,00	-	100,00	2,34	-	0,00	0,00	-
185	100,00	100,00	4,57	100,00	100,00	2,24	100,00	84,26	11,29	100,00	95,00	4,50
194	100,00	-	-	100,00	-	-	99,46	-	-	100,00	-	-
219	100,00	100,00	78,08	100,00	86,21	0,67	100,00	90,49	39,51	100,00	67,00	59,00
265	100,00	100,00	-	100,00	94,43	-	100,00	87,68	-	100,00	92,00	-
302	100,00	8,28	-	100,00	6,12	-	100,00	9,69	-	100,00	2,50	-
328	100,00	63,06	-	100,00	50,06	-	100,00	58,34	-	100,00	100,00	-
346	100,00	36,69	0,00	100,00	21,63	0,00	100,00	28,02	14,32	100,00	16,00	9,00
347	55,53	-	-	66,67	-	-	72,64	-	-	22,10	-	-
GraM	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00

TABELA 5.3. Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 3.

PC	Percentual do volume de referência (%)											
	1VR			2VR			12VR			GS		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-
68	100,00	100,00	-	100,00	85,64	-	100,00	66,66	-	100,00	86,50	-
79	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-
132	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
133	100,00	100,00	-	100,00	99,87	-	100,00	84,92	-	100,00	100,00	-
136	100,00	100,00	-	100,00	84,14	-	100,00	69,52	-	100,00	100,00	-
158	100,00	0,71	-	100,00	0,00	-	100,00	2,34	-	0,00	0,00	-
185	100,00	100,00	4,57	100,00	100,00	2,24	100,00	84,26	11,29	100,00	95,00	4,50
194	100,00	-	-	100,00	-	-	98,70	-	-	100,00	-	-
219	100,00	100,00	78,08	100,00	86,21	0,67	100,00	90,49	39,51	100,00	67,00	59,00
265	100,00	100,00	-	100,00	94,43	-	100,00	87,68	-	100,00	92,00	-
302	100,00	8,28	-	100,00	6,12	-	100,00	9,71	-	100,00	2,50	-
328	100,00	63,06	-	100,00	50,06	-	100,00	58,34	-	100,00	100,00	-
346	100,00	36,69	0,00	100,00	21,63	0,00	100,00	28,02	14,32	100,00	16,00	9,00
347	56,61	-	-	66,95	-	-	73,01	-	-	22,53	-	-
GraM	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00

TABELA 5.4. Percentual do volume demandado anual que é outorgado por critério, considerando a Configuração 4.

PC	Percentual do volume de referência (%)											
	1VR			2VR			12VR			GS		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-
68	100,00	100,00	-	100,00	85,64	-	100,00	66,66	-	100,00	86,50	-
79	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-
132	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
133	100,00	100,00	-	100,00	99,87	-	100,00	84,92	-	100,00	100,00	-
136	100,00	100,00	-	100,00	84,14	-	100,00	69,52	-	100,00	100,00	-
158	100,00	0,71	-	100,00	0,00	-	100,00	2,34	-	0,00	0,00	-
185	100,00	100,00	4,57	100,00	100,00	2,24	100,00	84,26	11,29	100,00	95,00	4,50
194	100,00	-	-	100,00	-	-	98,70	-	-	100,00	-	-
219	100,00	100,00	78,08	100,00	86,21	0,67	100,00	90,49	39,51	100,00	67,00	59,00
265	100,00	100,00	-	100,00	94,43	-	100,00	87,68	-	100,00	92,00	-
302	100,00	8,28	-	100,00	6,12	-	100,00	9,71	-	100,00	2,50	-
328	100,00	63,06	-	100,00	50,06	-	100,00	58,34	-	100,00	100,00	-
346	100,00	36,69	0,00	100,00	21,63	0,00	100,00	28,02	14,32	100,00	16,00	9,00
347	56,61	-	-	66,95	-	-	73,01	-	-	22,53	-	-
GraM	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00

Poder-se-ia pensar que os valores das Tabelas 5.1 a 5.4 são as garantias volumétricas resultantes do emprego de cada critério, o que não é correto. Os percentuais acima se baseiam nos valores outorgados a cada usuário por PC, de acordo com o critério considerado, enquanto as garantias volumétricas são resultantes da simulação do critério.

Dessa forma, as garantias volumétricas podem assumir valores, no máximo, iguais aos percentuais das Tabelas 5.1 a 5.4.

A única exceção é o critério da vazão excedente. Como as vazões outorgadas segundo esse critério acompanham a variabilidade hidrológica da bacia, ou seja, além das vazões outorgadas diferirem intra-anualmente, também variam inter-anualmente, os percentuais outorgados do volume requerido pelos usuários podem ser representados pela própria garantia volumétrica. As garantias volumétricas dos PCs, segundo o critério da vazão excedente, encontram-se nos Anexos A.4.5, A.4.10, A.4.15 e A.4.20.

5.2.2 Análise e Comparação dos Resultados

Vale ressaltar novamente que o intuito desse estudo não foi efetuar uma comparação entre os cenários de possível ocorrência a curto prazo na bacia do rio Gramame, e sim avaliar o impacto da implementação do processo de outorga, utilizando os critérios citados, nesses cenários.

Assim, a análise que se segue foi efetuada individualmente para cada uma das configurações de infra-estrutura, demanda e regra operacional da Tabela 4.10 do Capítulo 4, com base nos resultados dos Anexos A.4.1 a A.4.20.

No caso da demanda primária, apenas foram considerados na análise os PCs que, além da demanda ecológica, contemplassem o abastecimento urbano, quais sejam PC 43, 132, 194 e 347. Isso porque, efetivamente, as demanda ecológicas nos demais PCs, por representarem apenas um percentual de 10% da vazão com permanência em 90% do tempo, apresentaram, de modo geral, resultados relativamente bons.

a) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual (Configuração 1)

Para a comparação entre os parâmetros de desempenho resultantes do emprego de cada critério na Configuração 1 (Anexos A.4.1 a A.4.5), estes são considerados, a princípio, individualmente para cada categoria de demandas (primária, secundária e terciária).

Em seguida, com base nessas comparações individuais, far-se-á uma análise geral dos critérios de outorga utilizados nesse estudo.

Garantia Volumétrica

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram as garantias volumétricas para cada demanda por PC.

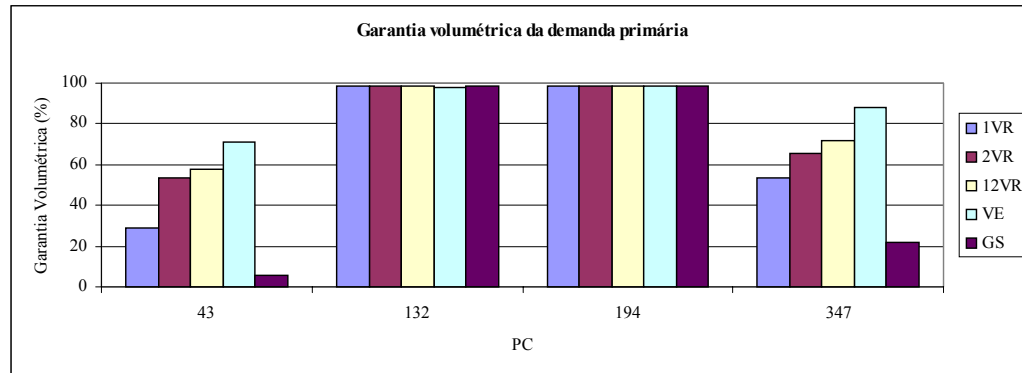


FIGURA 5.1. Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config. 1 (critérios).

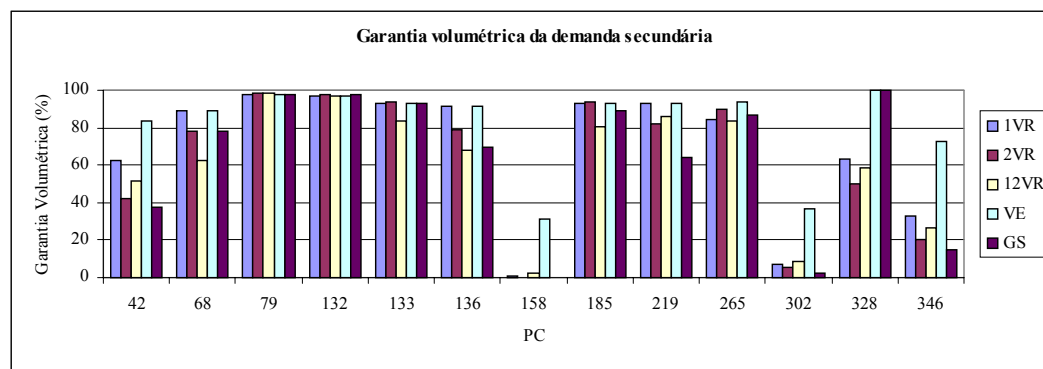


FIGURA 5.2. Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios).

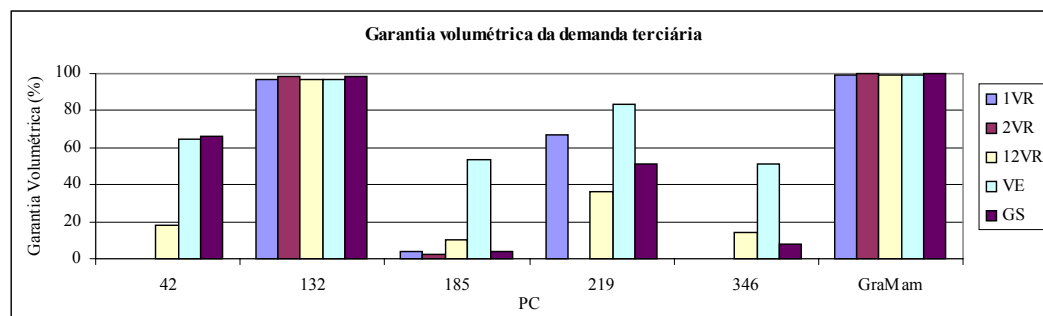


FIGURA 5.3. Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios).

A partir da Figura 5.1, verifica-se que, de modo geral, quanto mais o critério de outorga acompanhou a variabilidade hidrológica da bacia, passando de 1 valor de vazão de referência (1VR) para 2 (2VR), 12 (12VR), chegando às séries naturais de vazão (VE), mais água se tornou disponível para os usuários de prioridade primária, conforme pressupomos inicialmente no Capítulo 4.

Entretanto, no caso das demandas secundárias e terciárias (Figuras 5.2 e 5.3), o estabelecimento de 2 e 12 vazões de referência não produziu, no geral, melhores resultados do que a vazão de referência única. As demandas secundárias e terciárias representam as irrigações na bacia e estas, conforme mostrado no Anexo 3, são requeridas apenas nos meses secos (setembro a fevereiro). Por isso, o aumento da disponibilidade na estação úmida não melhorou de forma significativa seu suprimento e a redução da vazão disponível no período seco trouxe, como consequência, a diminuição dos volumes atendidos na simulação ou a permanência dos mesmos valores, dependendo do caso.

De modo geral, as baixas garantias volumétricas do critério da garantia de suprimento (GS) refletiram o quanto as demandas existentes na bacia se encontram com garantias temporais abaixo de 95%, 90% e 85% para as demandas primária, secundária e terciária, respectivamente.

Com base nas garantias volumétricas das demandas primária, secundária e terciária, mostradas nas figuras acima, o melhor resultado global foi obtido com o critério da vazão excedente.

Porém, deve-se salientar que esse critério, mesmo sendo o mais indicado, conseguiu suprir apenas pouco mais de 70% do volume total requerido pela demanda primária do PC 43 (Figura 5.1), e algumas demandas secundárias e terciárias tiveram menos de 70% de seu volume atendido. Isso mostra o quanto as demandas de água na bacia estão além de sua disponibilidade hídrica, com a atual infra-estrutura.

Garantia Temporal

A garantia temporal, que se refere ao percentual do tempo no qual os usuários de água têm toda sua demanda suprida, é mostrada nas Figuras 5.4 a 5.6.

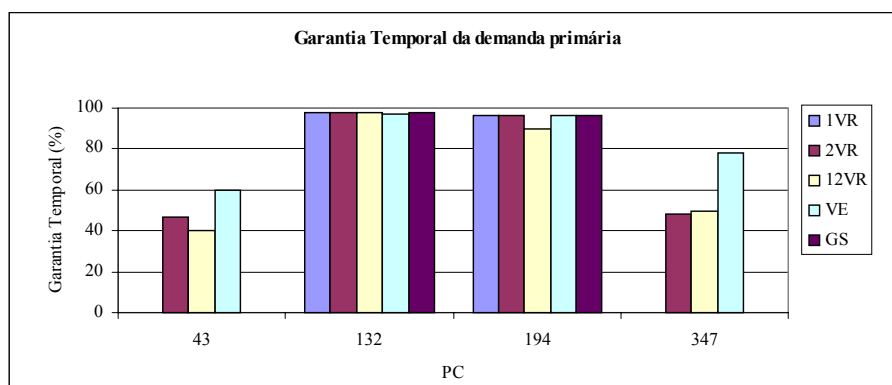


FIGURA 5.4. Garantia temporal das demandas primárias para a Config. 1 (critérios).

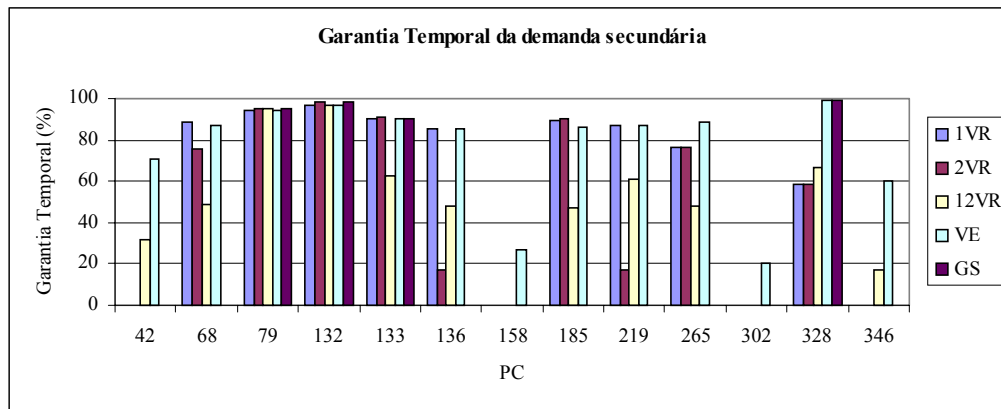


FIGURA 5.5. Garantia temporal das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios).

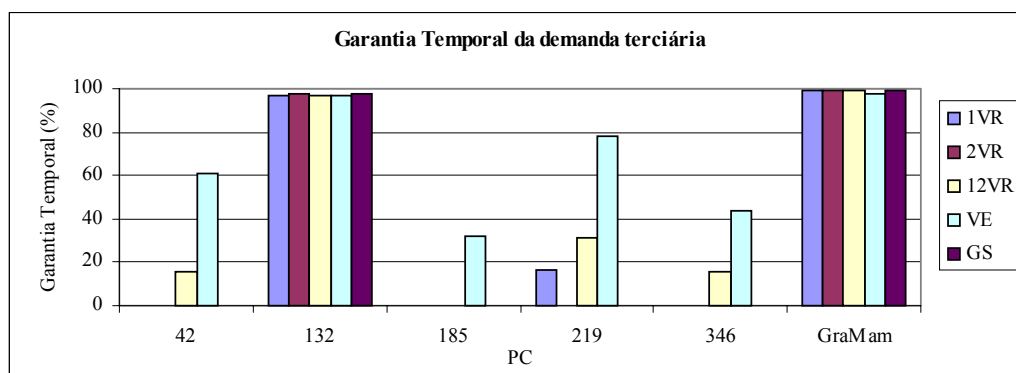


FIGURA 5.6. Garantia temporal das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios).

De acordo com a Figura 5.4, o crescimento da garantia temporal promovido pelos dos critérios 2VR, 12VR e VE, com relação ao critério de 1 valor da vazão de referência Q_{90} é bem mais sutil do que o observado na garantia volumétrica, mas o critério da vazão excedente continua resultando nos maiores valores de garantia temporal também.

Com relação ao atendimento das demandas secundária e terciária, com o estabelecimento de 2 valores de demanda de referência, o percentual do tempo no qual essas demandas são supridas completamente permanece o mesmo na maioria dos PCs, com relação ao cenário VR, quando não é verificada sua redução (PCs 68, 136 e 219 da Figura 5.5).

Considerando as vazões de referência mensais (12VR), na Figura 5.5, verifica-se que houve um aumento do número de falhas no atendimento (redução da garantia temporal) da maior parte das demandas secundárias, comparando-se com os critérios 1VR e 2VR. Entretanto, ocasionou em melhoria no atendimento das demandas terciárias (Figura 5.6).

Novamente, o critério da vazão excedente superou os demais, para quase todos os usos, sendo responsável pelas maiores garantias temporais, embora o suprimento total das demandas de alguns PCs não atinja nem 60% de todo o período simulado.

O critério da garantia de suprimento (GS), de modo geral, apresentou resultados insatisfatórios para as três categorias de demandas, nesses casos, não conseguindo suprir completamente suas necessidades em nenhum dos intervalos de tempo da simulação (garantia temporal nula).

Garantia Crítica Temporal

A garantia crítica temporal representa o percentual de todo intervalo simulado no qual ocorrem garantias volumétricas mensais superiores a 90%, ou seja, é a garantia temporal de que não ocorrerão falhas críticas.

Representando graficamente as garantias críticas temporais das demandas da bacia do rio Gramame, obtiveram-se as Figuras 5.7, 5.8 e 5.9.

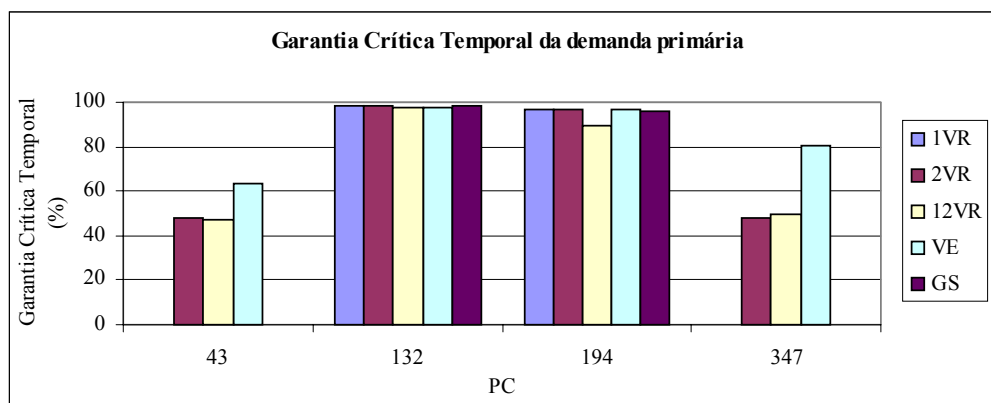


FIGURA 5.7. Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config. 1 (critérios).

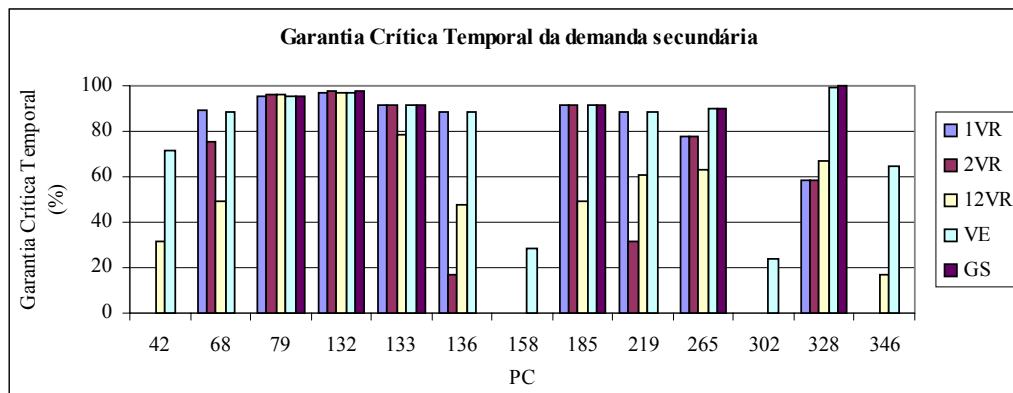


FIGURA 5.8. Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios).

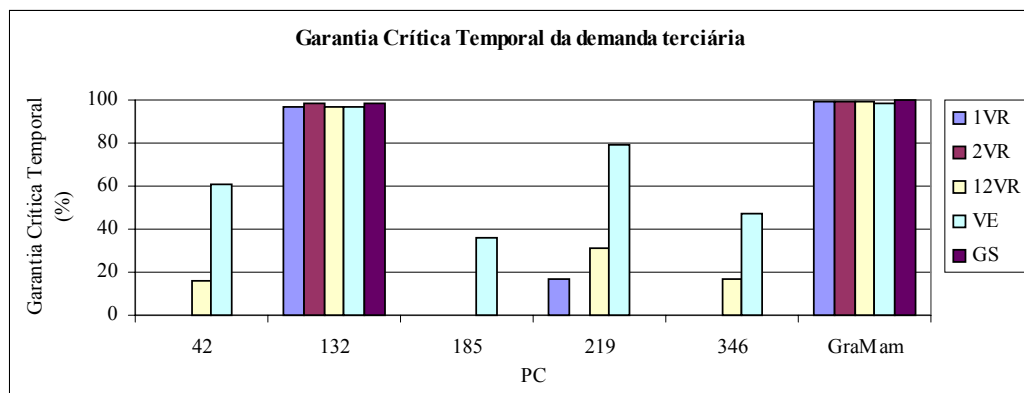


FIGURA 5.9. Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios).

Nas Figuras 5.7 e 5.9, a uniformidade que se verifica, de modo geral, reflete as maiores garantias críticas temporais com a utilização do critério da vazão excedente para o atendimento das demandas primária e terciária, seguido do critério 12VR. No caso das demandas secundárias, pela observação da Figura 5.8, embora com algumas poucas ressalvas, isso também foi verificado.

O critério da garantia de suprimento obteve as menores garantias críticas temporais para todas as categorias de demandas, enquanto o critério 1VR, para as demandas secundária e terciária, resultou, de modo geral, em maiores valores que 2VR.

Resiliência

As Figuras 5.10, 5.11 e 5.12 apresentam o parâmetro resiliência das demandas primária, secundária e terciária, respectivamente.

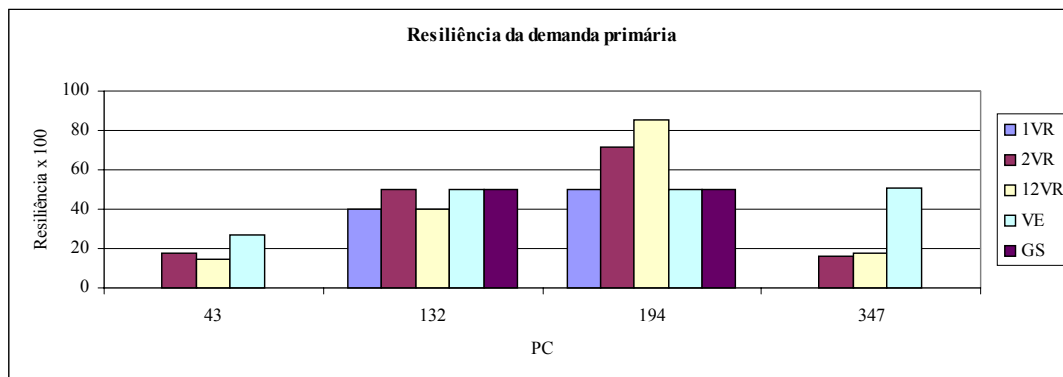


FIGURA 5.10. Resiliência das demandas primárias para a Config. 1 (critérios).

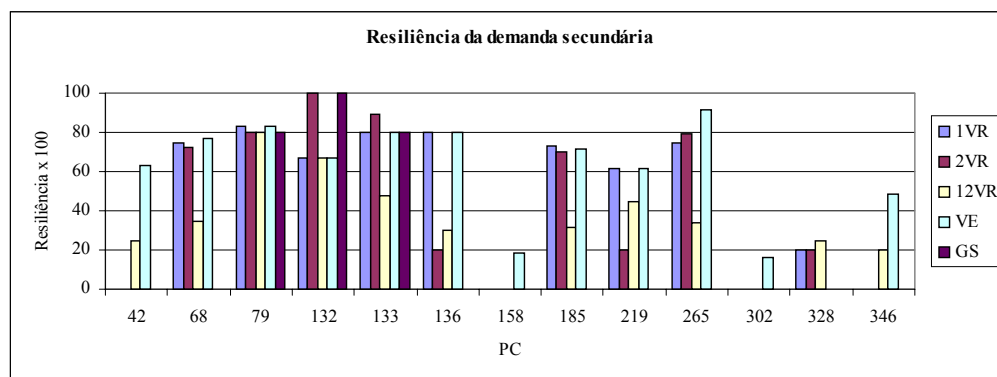


FIGURA 5.11. Resiliência das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios).

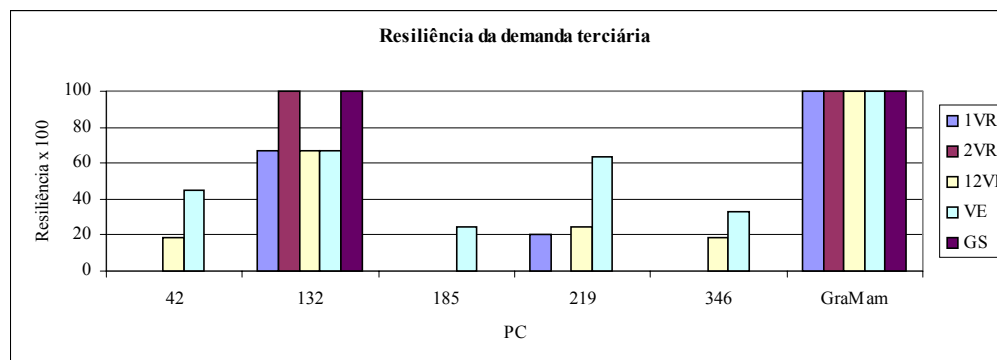


FIGURA 5.12. Resiliência das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios).

No caso da demanda primária (Figura 5.10), de modo geral, o estabelecimento de mais de um valor de vazão de referência como limite máximo de uso da água ocasionou num aumento da capacidade de recuperação à ocorrência de falha, com relação a 1VR. O mesmo se verificou com o critério da vazão excedente, com relação aos citados, à exceção do PC 194.

A resiliência da demanda secundária (Figura 5.11) não sofreu grandes alterações com a consideração do critério 2VR, ao invés do critério 1VR. Quanto ao emprego de 12 valores de vazão de referência, na maioria dos PCs, verificou-se uma redução da resiliência mas, em compensação, conseguiu garantir valores superiores a zero em quase todos os PCs. Isso pode ter sido ocasionado pelo fato das vazões de referência relativas aos meses da estação seca (setembro a fevereiro) serem baixas, não permitindo uma recuperação rápida do sistema na passagem de um mês para outro dessa estação.

Com relação ao atendimento das demandas terciárias (Figura 5.12), estabelecendo-se 2 valores de vazão de referência, a resiliência permaneceu a mesma de 1VR na maioria dos PCs, sendo elevada com o estabelecimento de 12 vazões de referência e, mais ainda, com o critério da vazão excedente.

O critério da garantia de suprimento (GS), de modo geral, apresentou resultados insatisfatórios para as três categorias de demandas, tornando nula a resiliência de vários PCs.

Por acompanhar a variabilidade hidrológica, representando o que realmente está sendo disponibilizado no intervalo de tempo considerado, o critério da vazão excedente foi aquele que, englobando o maior número de PCs, tornou mais rápida a capacidade de recuperação das demandas à ocorrência de falhas, dentre todos os critérios simulados.

Vulnerabilidade

Conforme mostrado no Capítulo 4, a vulnerabilidade representa o volume médio que deixa de ser atendido na ocorrência de uma falha. Entretanto, devido a esses valores apresentarem grandes variações de intensidade para os usuários dos diversos PCs, sua representação gráfica é efetuada nesse estudo pela razão entre a vulnerabilidade e o volume médio requerido pela referida demanda.

Assim, a vulnerabilidade é representada por um percentual da demanda total requerida pelo usuário, sendo aqui denominada de vulnerabilidade percentual.

As vulnerabilidades percentuais, calculadas com base nas vulnerabilidades dos Anexos A.4.1 a A.4.5 e nas respectivas demandas de referência, são apresentadas nas Figuras 5.13, 5.14 e 5.15.

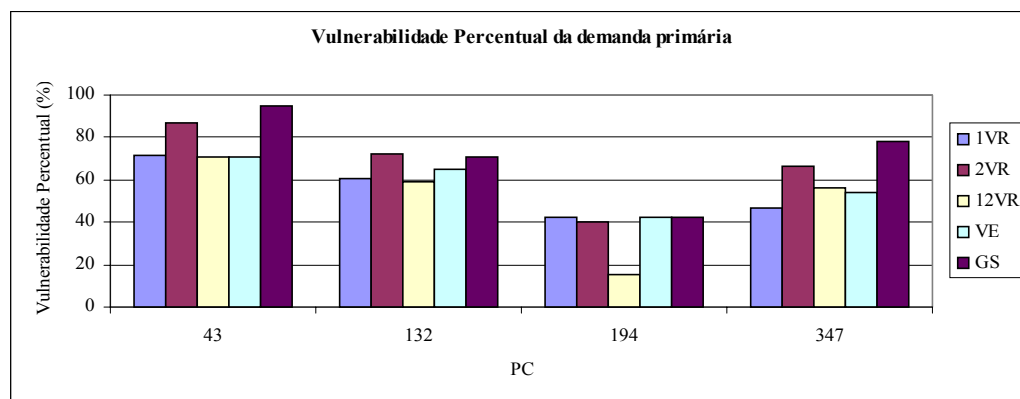


FIGURA 5.13. Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config. 1 (critérios).

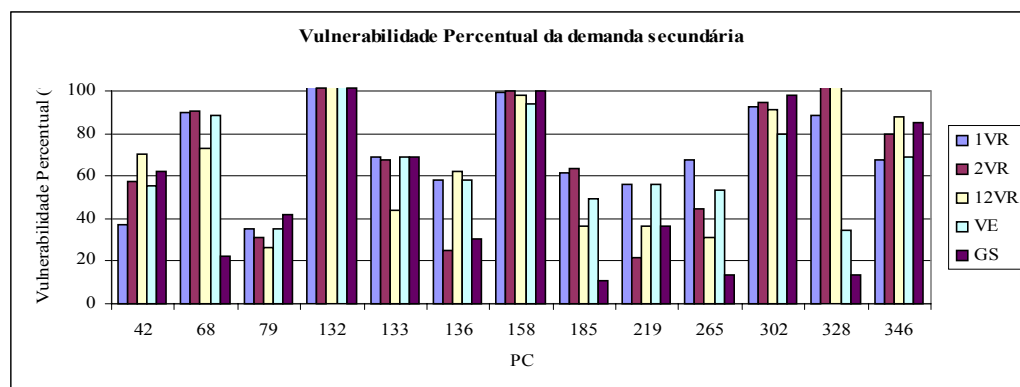


FIGURA 5.14. Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios).

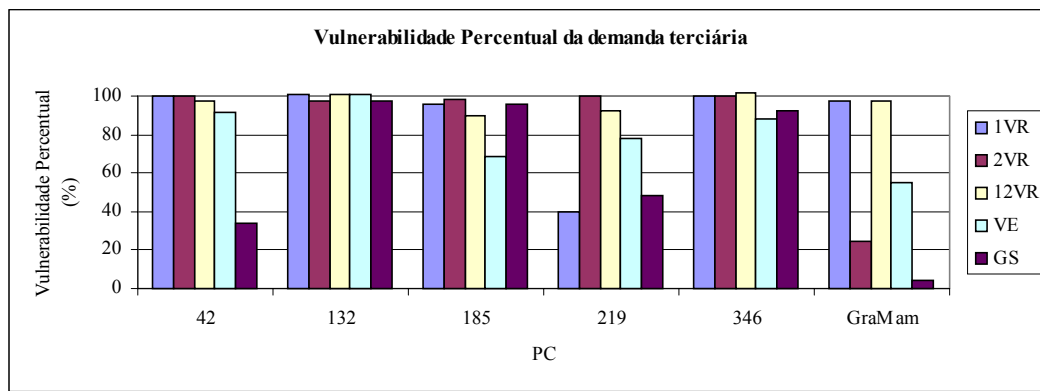


FIGURA 5.15. Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios).

Conforme visto nas Figuras 5.13 e 5.15, a mudança de critério de outorga, na maioria dos PCs, não acarreta em grandes variações do percentual médio do volume total das demandas que deixa de ser atendido na ocorrência de falhas, no caso das demandas terciárias, sempre próximos de 100%.

É possível distinguir ainda que, na Figura 5.13, os melhores valores (vulnerabilidade percentual menor) são geralmente obtidos com os critérios VE, 1VR e 12VR, em ordem decrescente de vulnerabilidade. Enquanto, para as demandas terciárias, VE e GS obtiveram os melhores resultados.

A Figura 5.14 mostra uma grande variabilidade do crescimento da vulnerabilidade, de acordo com o critério empregado, para as demandas secundárias. Mas, de modo geral, os critérios 12VR e GS apresentaram as menores vulnerabilidades percentuais.

Garantia Volumétrica Mensal Mínima

A mínima garantia volumétrica observada nos meses simulados é mostrada nas Figuras 5.16, 5.17 e 5.18, por categoria de demanda.

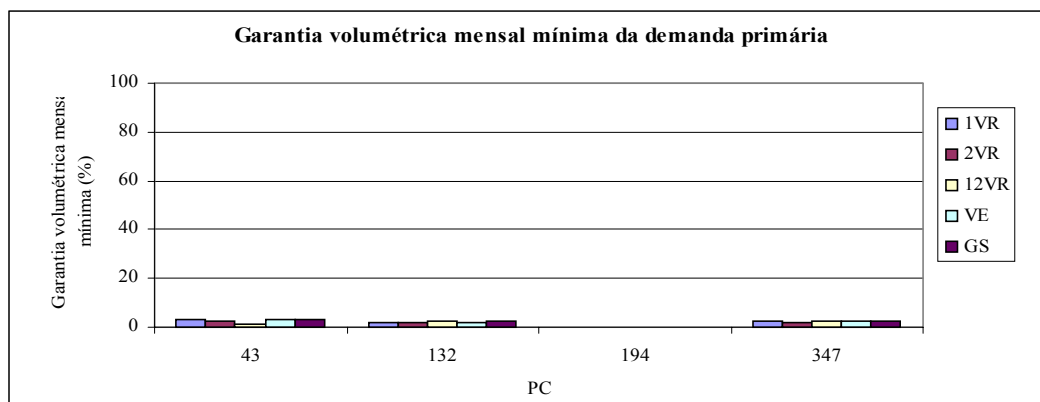


FIGURA 5.16. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 1 (critérios).

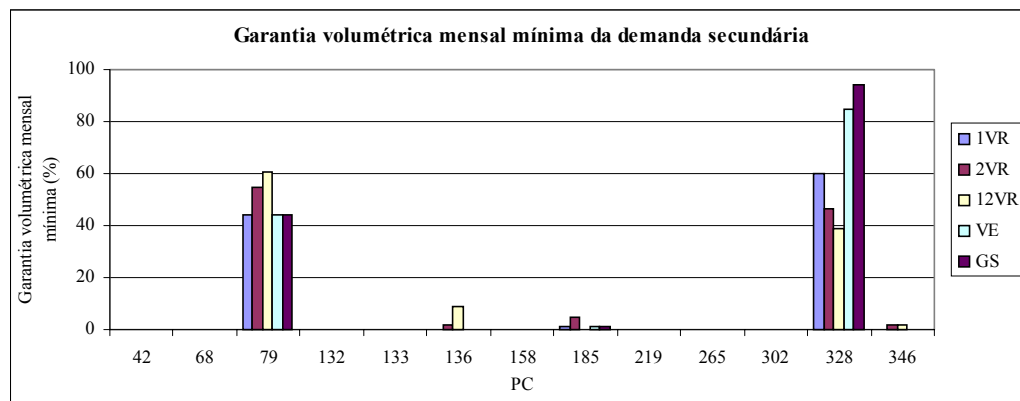


FIGURA 5.17. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 1 (critérios).

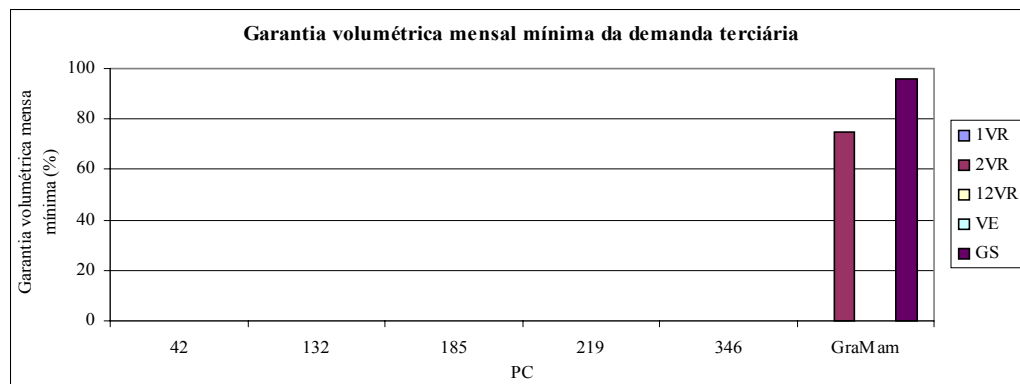


FIGURA 5.18. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 1 (critérios).

As Figuras 5.16, 5.17 e 5.18 mostram que, de modo geral, mesmo quando foram disponibilizadas as vazões naturais para outorga nos PCs (critério da vazão excedente), não se conseguiu aumentos significativos do percentual atendido do volume de referência, no período simulado, de forma a elevar a mínima garantia volumétrica observada.

A partir dessa figuras, também é possível verificar que, para a grande maioria das demandas primárias, secundárias e terciárias, houve, no mínimo, um intervalo de tempo (mês) no qual não foi atendido nada da demanda requerida (0%). Isso reafirma que as demandas existentes na bacia do rio Gramame são superiores às suas disponibilidades hídricas atuais.

Associação dos Parâmetros de Desempenho

Considerando todos os parâmetros de desempenho analisados anteriormente, é possível traçar um perfil dos critérios que menos carecerão da redução das demandas já instaladas na bacia do rio Gramame, ou seja, que mais benefícios trarão aos usuários de água da bacia.

A Tabela 5.5 mostra, em ordem crescente de benefícios, os critérios de outorga por categoria de demanda, levando em consideração o critério que garanta melhores valores dos parâmetros para um maior número de PCs da demanda em questão.

TABELA 5.5. Ordem crescente de benefícios gerados pelos critérios de outorga na bacia do rio Gramame, para cada parâmetro de desempenho na Configuração 1.

Parâmetro de Desempenho	Prioridade da Demanda	Ordem de Benefícios				
		1	2	3	4	5
<i>Garantia Volumétrica</i>	Primária	GS	1VR	2VR	12VR	VE
	Secundária	12VR	GS	2VR	1VR	VE
	Terciária	2VR	1VR	GS	12VR	VE
<i>Garantia Temporal</i>	Primária	GS	1VR	12VR	2VR	VE
	Secundária	GS	2VR	12VR	1VR	VE
	Terciária	GS	2VR	1VR	12VR	VE
<i>Garantia Crítica Temporal</i>	Primária	GS	1VR	2VR	12VR	VE
	Secundária	2VR	12VR	GS	1VR	VE
	Terciária	1VR	2VR	GS	12VR	VE
<i>Resiliência</i>	Primária	GS	1VR	12VR	2VR	VE
	Secundária	GS	2VR	1VR	12VR	VE
	Terciária	GS	2VR	1VR	12VR	VE
<i>Vulnerabilidade</i>	Primária	GS	2VR	VE	1VR	12VR
	Secundária	1VR	VE	2VR	12VR	GS
	Terciária	12VR	1VR	2VR	VE	GS
<i>Garantia volumétrica mensal mínima</i>	Primária	2VR	12VR	1VR	VE	GS
	Secundária	1VR	VE	GS	12VR	2VR
	Terciária	1VR	2VR	VE	12VR	GS

Pode-se observar da Tabela 5.5 que, dentre os critérios analisados, a adoção do critério da vazão excedente foi aquele que menos causou impacto no suprimento das demandas primárias, secundárias e terciárias existentes na bacia do rio Gramame, vindo a confirmar que as disponibilidades naturais nos cursos d'água são responsáveis pelos melhores parâmetros de desempenho. Vale ressaltar que a hierarquização das demandas é utilizada em toda a avaliação dos impactos dos critérios de outorga que se segue, ou seja, é dada prioridade ao critério que resultem em menos reduções no suprimento primeiramente das demandas primárias, seguida das secundárias e terciárias.

Pela Tabela 5.5, verifica-se ainda que o estabelecimento de vazões de referência Q_{90} mensais, conforme esperado também, obteve a segunda melhor resposta da bacia.

Entretanto, a utilização de duas vazões de referência Q_{90} com base nas séries das estações seca e chuvosa (2VR) não apresentou os resultados esperados. Embora os parâmetros de desempenho das demandas primárias o tenham indicado como de impacto inferior ao emprego da vazão de referência única (Decreto Estadual nº. 19.260/97), para as demais demandas esses valores não foram tão satisfatórios quanto os desse último critério.

Conforme dito anteriormente, as demandas secundárias e terciárias representam as irrigações na bacia e estas são requeridas apenas na estação seca. Por isso, o aumento da disponibilidade na estação úmida não melhorou de forma significativa seu suprimento e a

redução da vazão disponível no período seco trouxe, como conseqüência, uma queda no atendimento dessas demandas. Porém, como as demandas primárias são prioritárias e, segundo a Tabela 5.5, o emprego do critério de outorga com duas vazões de referência acarretará em menor redução das mesmas e das secundárias, considera-se que o emprego deste último critério trará maiores benefícios para os usuários de água da bacia.

Embora a utilização do critério da garantia de suprimento, conforme a Tabela 5.5, tenha resultado nos piores parâmetros de desempenho, apenas se deve afirmar que esse é o critério que resultará em menores vazões outorgadas às demandas instaladas na bacia do rio Gramame. Porém, como essas vazões outorgadas são estabelecidas com base em garantias pré-fixadas, numa bacia ainda não explorada, cujos usuários somente se estabelecerão caso a outorga lhe tenha sido concedida, esse parece ser o critério mais indicado por “assegurar” que a demanda requerida pelo usuário seja atendida em um percentual do tempo conhecido. Dessa forma, esse critério permite a esse usuário o planejamento de sua atividade produtiva.

b) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 2)

Conforme mostrado na Figura 4.1 do Capítulo 4, a construção do reservatório planejado Mumbaba no PC 42 afetará apenas o suprimento dos usuários instalados nos PCs 42 e 43. Dessa forma, os parâmetros de desempenho dos demais PCs são os mesmos apresentados para a Configuração 1.

Os Anexos A.4.6 a A.4.10 mostram as garantias volumétrica e temporal de 100% nos PCs afetados pela construção do reservatório Mumbaba, para todas as demandas e critérios de outorga considerados. Assim, o reservatório consegue garantir o suprimento total da demandas requeridas nesses PCs em todo o período simulado.

Como os resultados por critério de outorga foram os mesmos da Configuração 1 para os demais PCs, e é indiferente a adoção de um ou outro critério para os PCs 42 e 43, logo, cabem aqui as mesmas considerações da análise dos parâmetros da Configuração 1.

c) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 3)

As mudanças das demandas hídricas na bacia do rio Gramame, no horizonte de 2010, foram conseqüência da projeção populacional dos municípios de Conde (PC 194) e Pedras de Fogo (PC 347), e dos municípios formadores da Grande João Pessoa – GJP (PC 132).

Dessa forma, o incremento populacional apenas influencia no abastecimento daqueles usuários situados nos citados PCs e a jusante dos mesmos. Por conseguinte, os parâmetros de desempenho que podem ter sofrido alterações, com relação àqueles da Configuração 2, são referentes aos PCs 132, 133, 194, 302, 328, 347 e GraMam (ver Figura 4.1).

A seguir são mostrados os parâmetros de desempenho de todos os PCs, baseados nos Anexos A.4.11 a A.4.15, para verificar se as mudanças nas demandas de 2010 afetaram de forma significativa na avaliação dos critérios efetuada na Configuração 1.

Garantia Volumétrica

As Figuras 5.19, 5.20 e 5.21 apresentam as garantias volumétricas das demandas primária, secundária e terciária, respectivamente, considerando a Configuração 3.

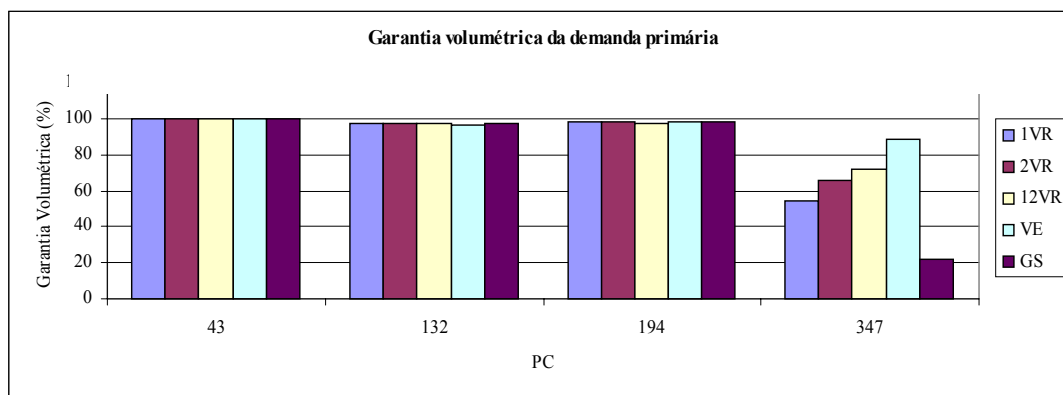


FIGURA 5.19. Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config. 3 (critérios).

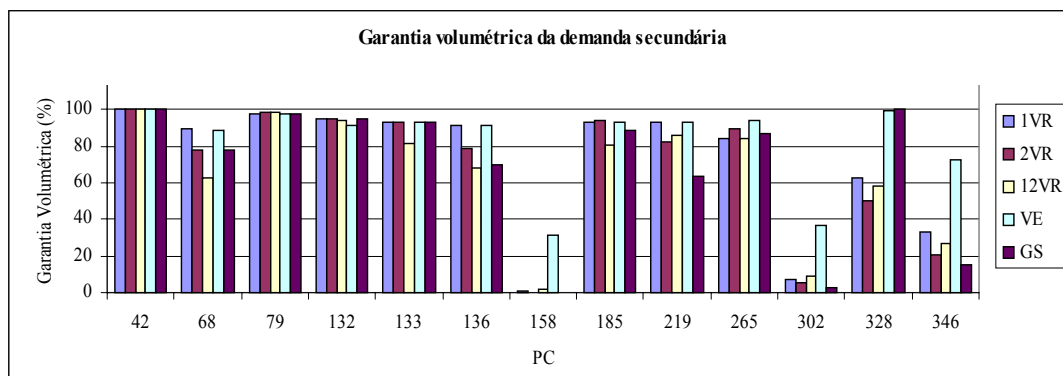


FIGURA 5.20. Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios).

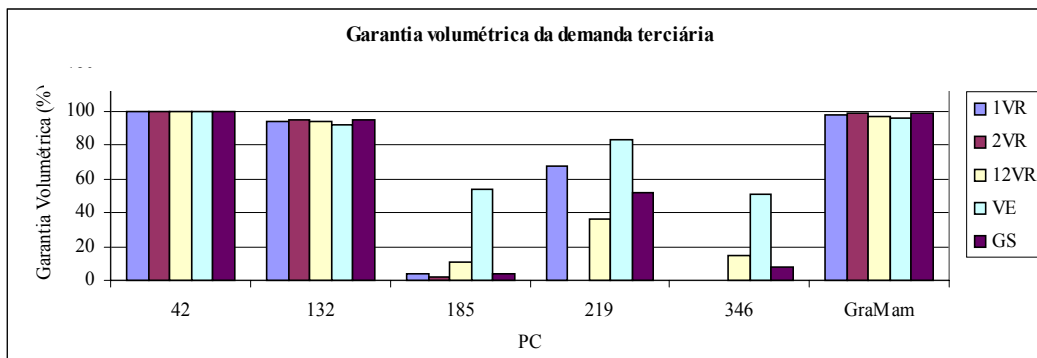


FIGURA 5.21. Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios).

Embora o acréscimo de demandas na bacia tenha ocasionado em pequenas reduções da garantia volumétrica para alguns PCs, verifica-se, a partir das Figuras 5.19, 5.20 e 5.21, que não houve modificações significativas das tendências de impacto causado pela implementação dos critérios de outorga, com relação às tendências da Configuração 1 (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3).

Garantia Temporal

As Figuras 5.22, 5.23 e 5.24 apresentam as garantias temporais das demandas primária, secundária e terciária, respectivamente, considerando a Configuração 3.

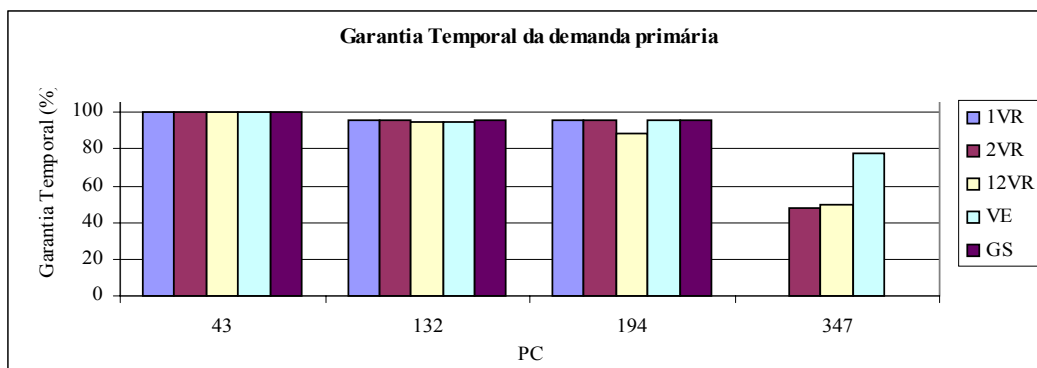


FIGURA 5.22. Garantia temporal das demandas primárias para a Config. 3 (critérios).

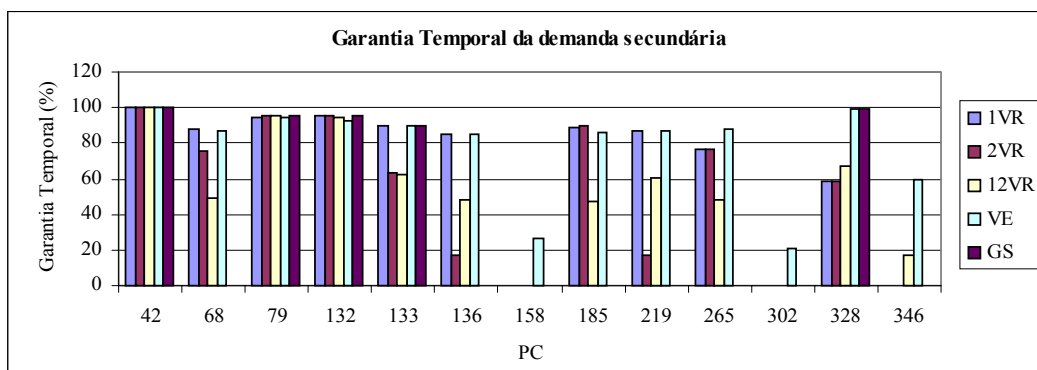


FIGURA 5.23. Garantia temporal das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios).

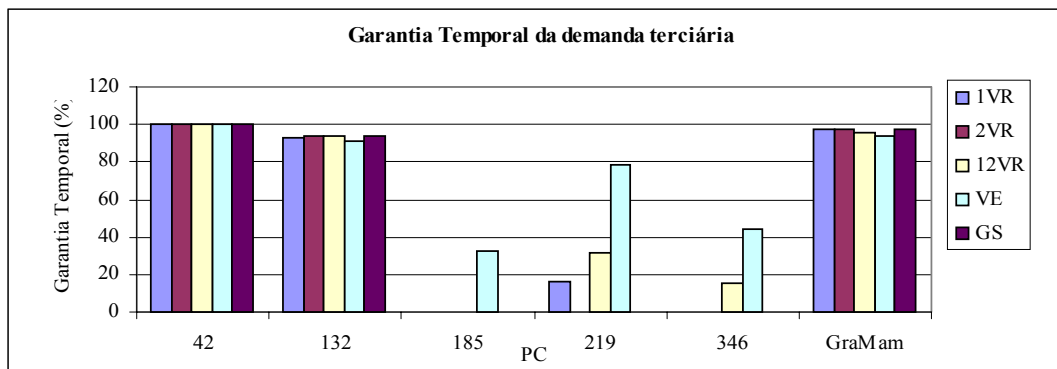


FIGURA 5.24. Garantia temporal das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios).

Embora nas Figuras 5.23 e 5.24 também se observe reduções do percentual do tempo nos quais a demanda é totalmente suprida, de modo geral, as modificações ocorridas não são suficientes, considerando os demais PCs, para que haja uma mudança no impacto do emprego dos critérios de outorga na bacia. Assim, aqui se mantém as considerações da Configuração 1.

Garantia Crítica Temporal

As Figuras 5.25, 5.26 e 5.27 apresentam as garantias críticas temporais das demandas primária, secundária e terciária, respectivamente, considerando a Configuração 3.

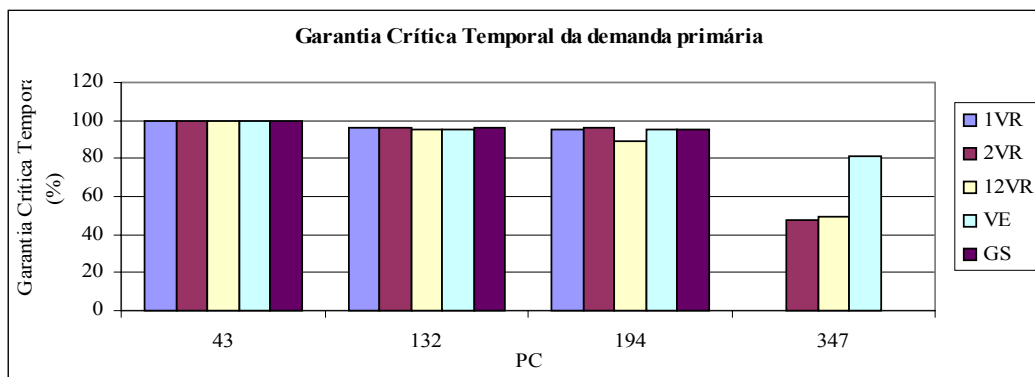


FIGURA 5.25. Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config. 3 (critérios).

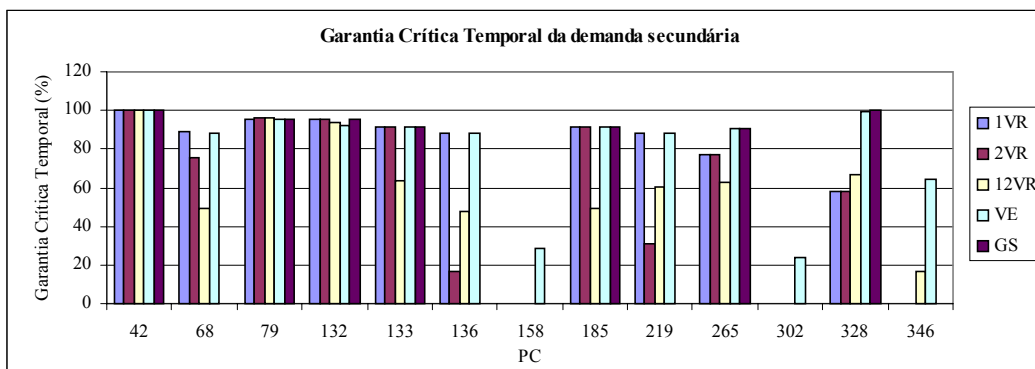


FIGURA 5.26. Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios).

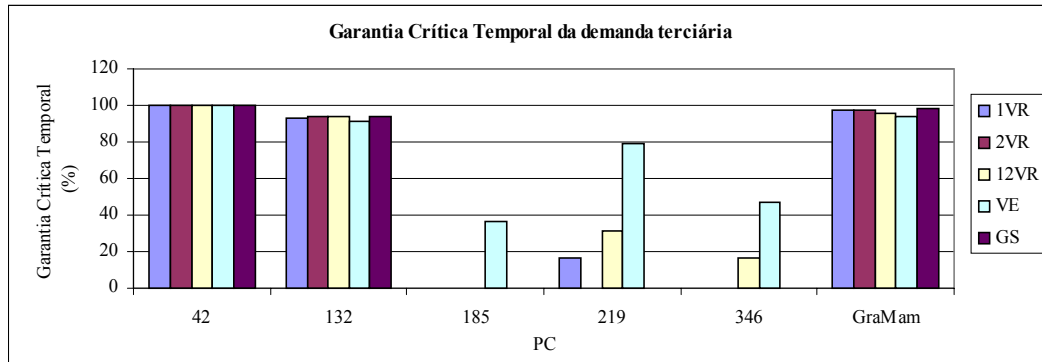


FIGURA 5.27. Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios).

Confrontando as Figuras 5.25, 5.26 e 5.27 com as Figuras 5.7, 5.8 e 5.9, verifica-se que ocorrem pequenas reduções da garantia crítica temporal para a Configuração 3, nos PCs afetados pelos aumentos das demandas. No entanto, essas alterações, considerando os demais PCs, não são suficientes para mudar a ordem dos critérios de outorga da Tabela 5.5, no que diz respeito à garantia crítica temporal.

Resiliência

As Figuras 5.28, 5.29 e 5.30 apresentam as resiliências das demandas primária, secundária e terciária, respectivamente, considerando a Configuração 3.

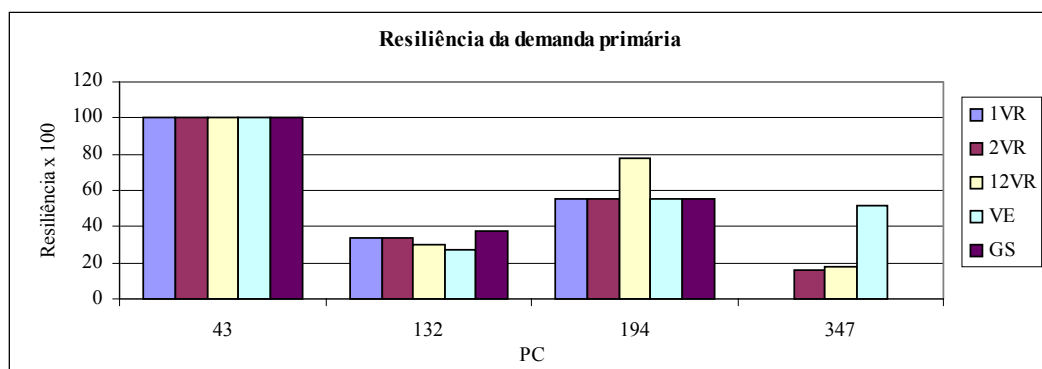


FIGURA 5.28. Resiliência das demandas primárias para a Config. 3 (critérios).

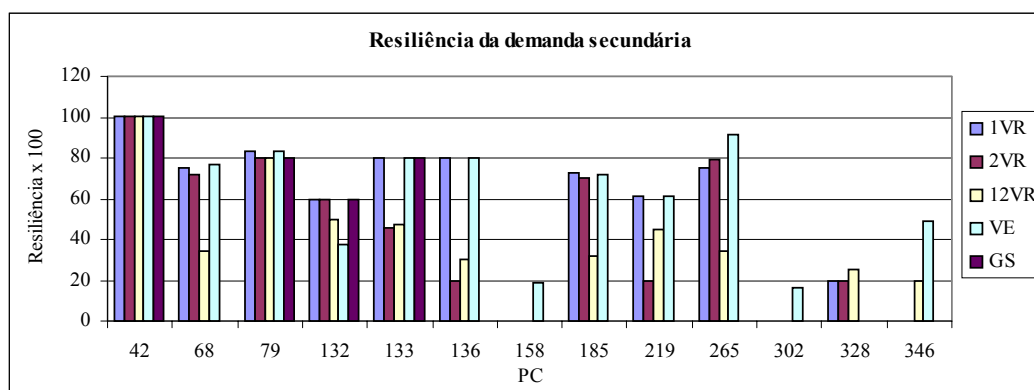


FIGURA 5.29. Resiliência das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios).

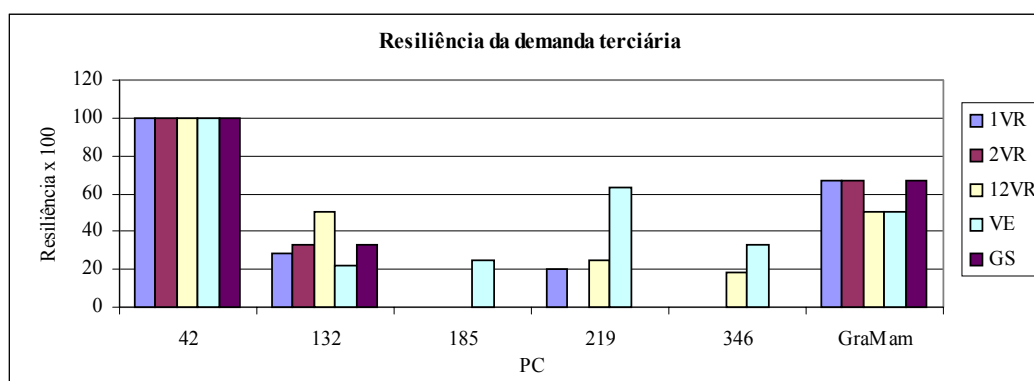


FIGURA 5.30. Resiliência das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios).

Embora os impactos do acréscimo da demanda populacional sejam bastante visíveis nos PCs das Figuras 5.28, 5.29 e 5.30 por ele afetados, quando comparadas às resiliências mostradas nas Figuras 5.10, 5.11 e 5.12, os critérios de outorga com maior capacidade de recuperação na ocorrência de falhas para um maior número de PCs continuaram seguindo a mesma ordem da Tabela 5.5.

A queda verificada nas resiliências das demandas dos PCs 132 e GraMam se deve à liberação de mais água para o abastecimento da GJP pelo sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba, o que reduz o volume armazenado no mesmo e, dessa forma, diminui a vazão disponível para as demandas desses PCs nos meses de escassez hídrica.

Vulnerabilidade

As Figuras 5.31, 5.32 e 5.33 apresentam as vulnerabilidades percentuais das demandas primária, secundária e terciária, respectivamente, considerando a Configuração 3.

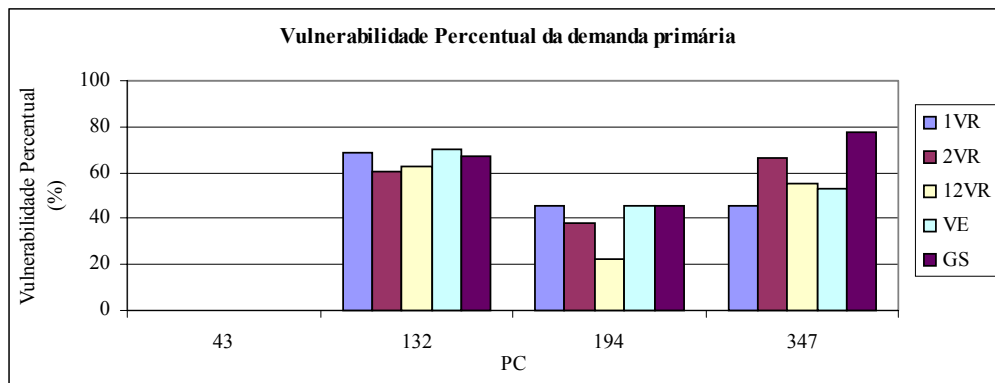


FIGURA 5.31. Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config. 3 (critérios).

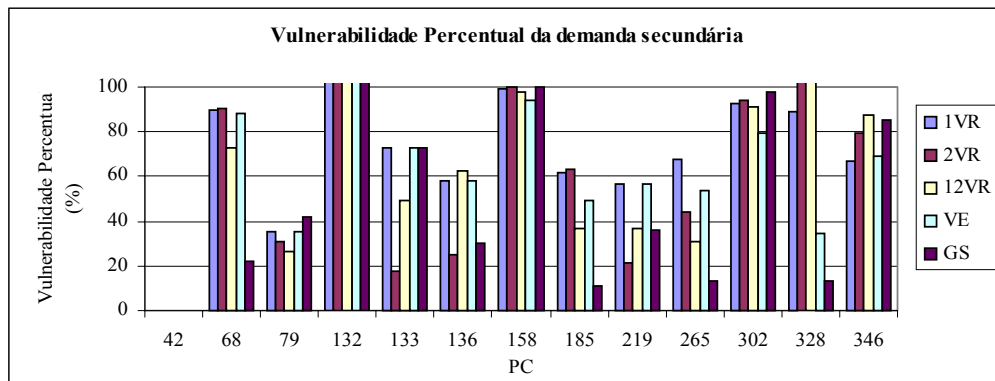


FIGURA 5.32. Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios).

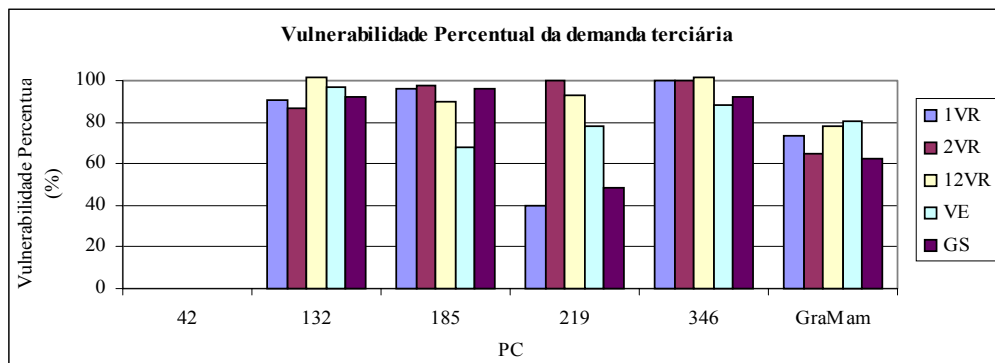


FIGURA 5.33. Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios).

Conquanto as modificações ocorridas na vulnerabilidade percentual da demanda primária do PC 132 (Figura 5.31) e na demanda secundária do PC 133 (Figura 5.32) tenham sido consideráveis, não afetam a ordem de preferência dos critérios de outorga mostradas na Tabela 5.5 para a Configuração 1.

Garantia Volumétrica Mensal Mínima

As garantias volumétricas mensais mínimas são mostradas nas Figuras 5.34, 5.35 e 5.36.

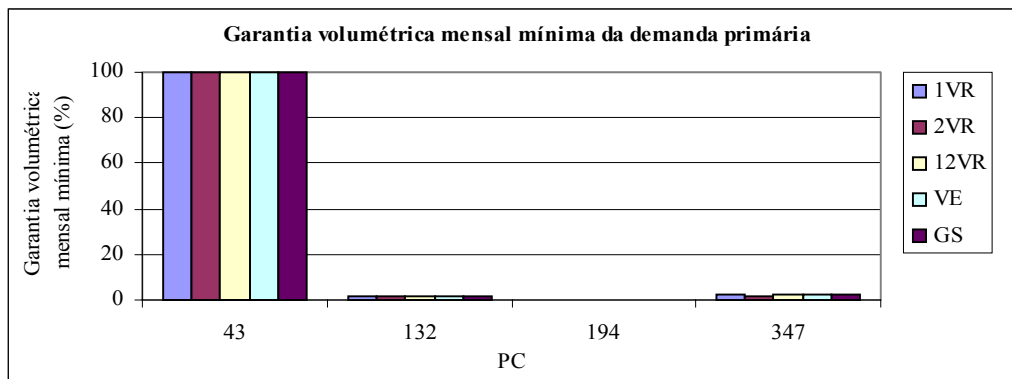


FIGURA 5.34. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 3 (critérios).

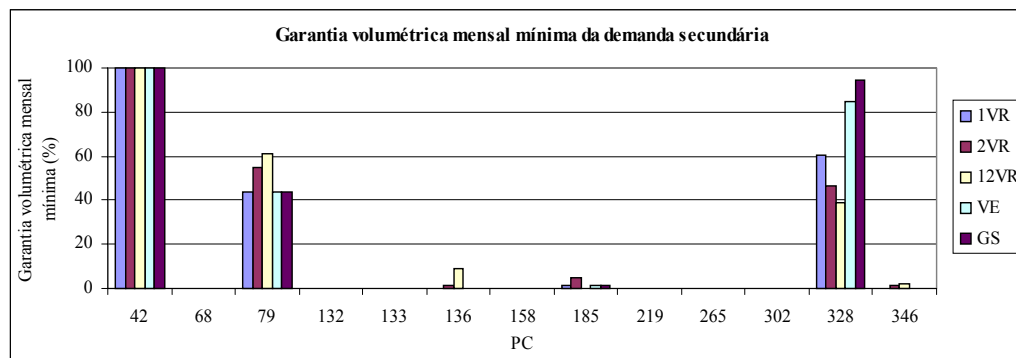


FIGURA 5.35. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 3 (critérios).

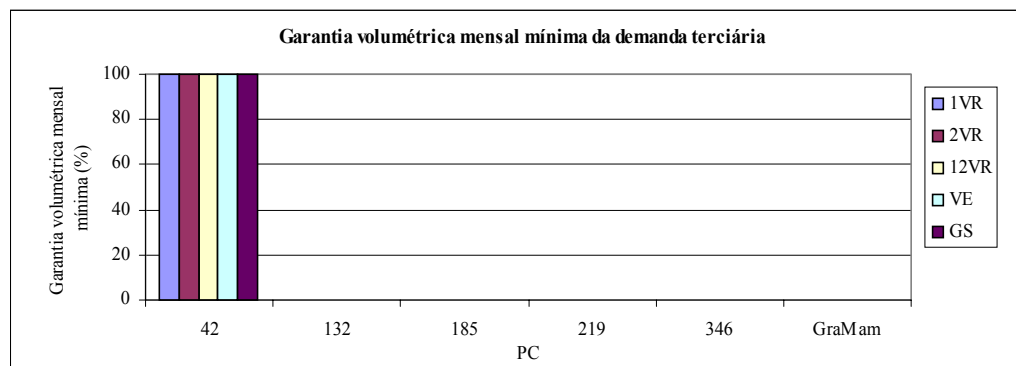


FIGURA 5.36. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 3 (critérios).

Confrontando as figuras acima com as Figuras 5.16, 5.17 e 5.18, percebe-se que não há modificações significativas da garantia volumétrica mínima mensal observada, com exceção das demandas terciárias do PC GraMam, além dos PCs 42 e 43.

Associação dos Parâmetros de Desempenho

A partir da análise individual de cada um dos parâmetros, verificou-se que, embora tenham ocorrido algumas modificações nos PCs afetados pelo aumento da demanda, de modo geral, as alterações não foram suficientes para mudar a ordem dos critérios de outorga com menores impactos na bacia do rio Gramame (Tabela 5.5). Dessa forma, cabem aqui as mesmas considerações da Configuração 1.

d) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba Operando com Demanda para GJP de 1.000 l/s + Nível de Racionamento de 50% (Configuração 4)

O aumento da demanda da GJP no PC 43 para 1.000 l/s, atendida pelo reservatório Mumbaba (PC 42), conseqüentemente provoca uma redução do suprimento da mesma pelo PC 132 para 1.973,33 l/s (Tabela 4.4). Assim, acredita-se que haverá reduções no atendimento das demandas dos PCs 42, pela liberação de uma maior volume de água do reservatório, e do próprio PC 43, sendo acompanhada por uma possível melhora no suprimento dos PCs 132 e GraMam (ver Figura 4.1), com relação à configuração anterior.

Em contrapartida, como o nível de racionamento de 50% do volume útil dos reservatórios impõe que, abaixo desse nível, apenas as demandas primárias submetidas ao sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba (PC GraMam) e ao reservatório Mumbaba sejam supridas, é de se esperar também que haja uma redução do atendimento das demandas secundária e terciária do PC 132 e uma melhora dos índices das demandas primárias desse e do PC 43.

Dessa forma, nas figuras a seguir são mostrados apenas os parâmetros de desempenho dos PCs afetados por essas alterações (42, 43, 132 e GraMam), baseados nos valores dos Anexos A.4.16 a A.4.20, para verificar se as mudanças afetaram de forma significativa a avaliação dos critérios da Configuração 3.

Garantia Volumétrica

As garantias volumétricas para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.37, 5.38 e 5.39.

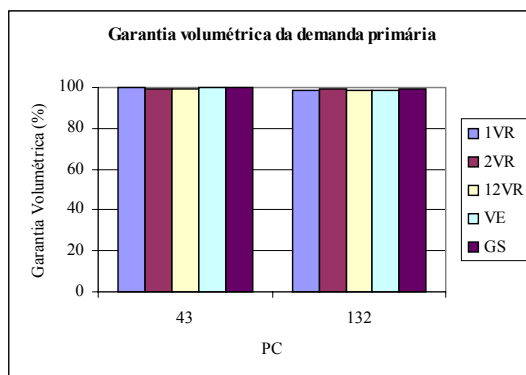


FIGURA 5.37. Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config. 4 (critérios).

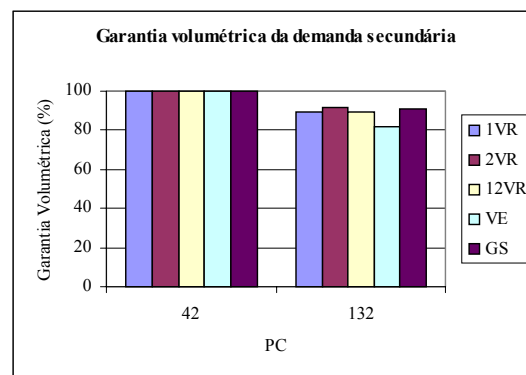


FIGURA 5.38. Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios).

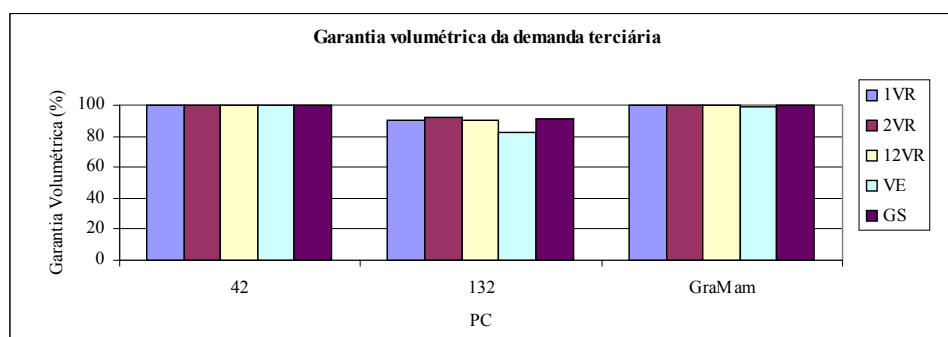


FIGURA 5.39. Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios).

Como era de se esperar, devido à operação zoneada do sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba, houve uma pequena redução das garantias volumétricas da demanda secundária do PC 132 (Figura 5.38) e da demanda terciária dos PCs 132 e GraMam (Figura 5.39), comparando-as com as referentes à Configuração 3 (Figuras 5.20 e 5.21). Todavia, consideradas tais modificações, o impacto dos critérios de outorga nas demandas conduziram às mesmas conclusões estabelecidas na Tabela 5.5 para o referido parâmetro de desempenho.

Garantia Temporal

As garantias temporais para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.40, 5.41 e 5.42.

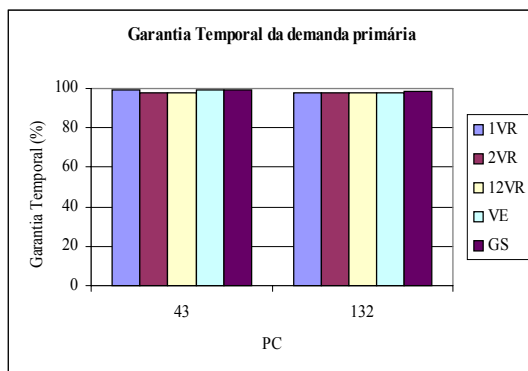


FIGURA 5.40. Garantia temporal das demandas primárias para a Config. 4 (critérios).

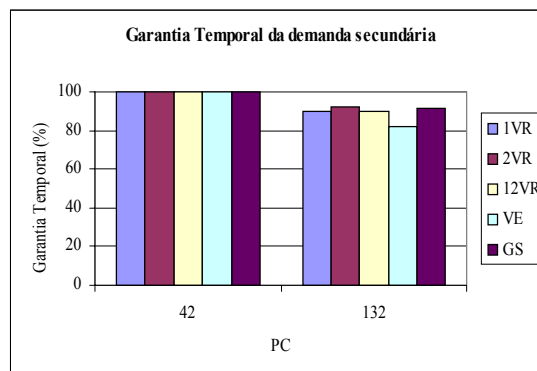


FIGURA 5.41. Garantia temporal das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios).

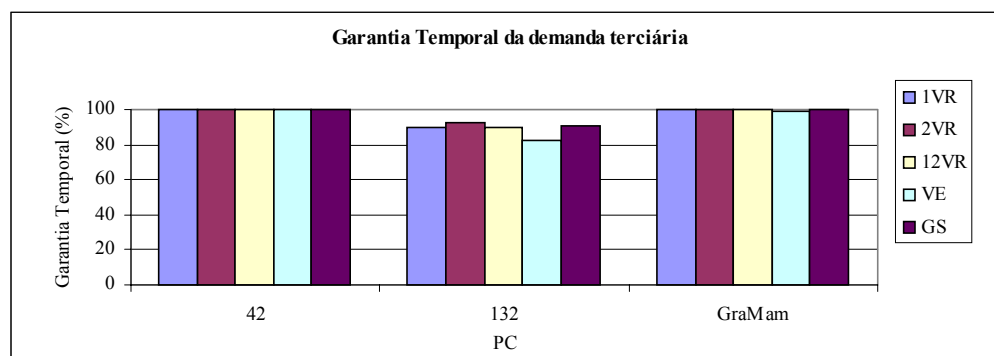


FIGURA 5.42. Garantia temporal das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios).

De forma similar à garantia volumétrica, a garantia temporal das demandas secundária e terciária (Figuras 5.41 e 5.42, respectivamente), referentes aos PCs 132 e GraMam, sofreram pequena queda com relação à Configuração 3 (Figuras 5.23 e 5.24), sem comprometer a ordem dos critérios que mais afetaram o suprimento dessas demandas.

Garantia Crítica Temporal

As garantias críticas temporais para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.43, 5.44 e 5.45.

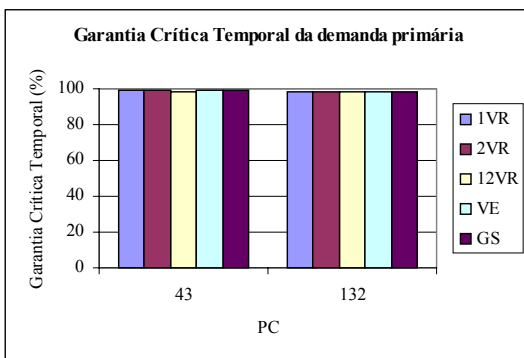


FIGURA 5.43. Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config. 4 (critérios).

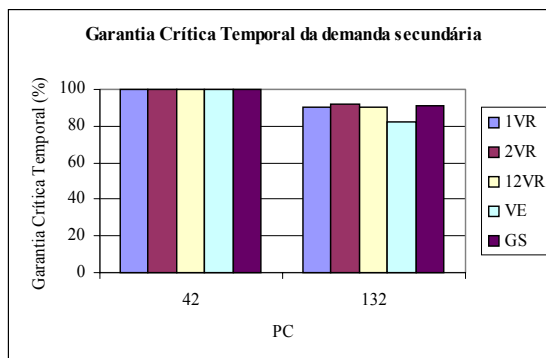


FIGURA 5.44. Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios).

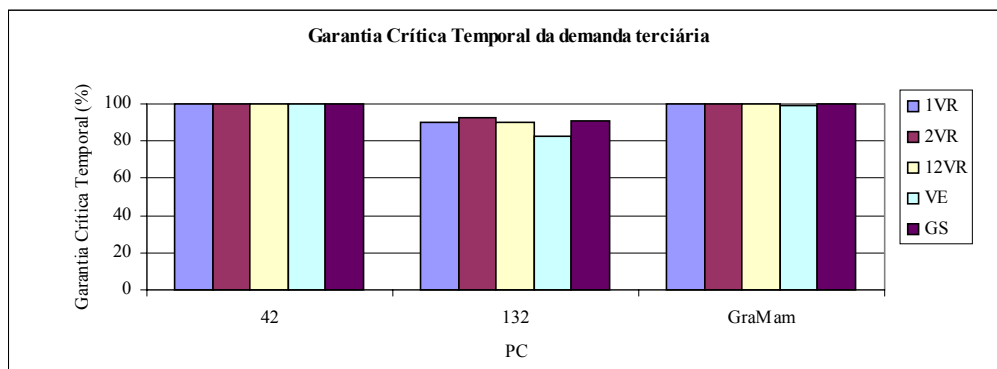


FIGURA 5.45. Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios).

Embora tenha havido pequenas alterações nas garantias críticas temporais das figuras acima, quando comparadas às Figuras 5.25, 5.26 e 5.27, estas seguem a mesma ordem de impacto dos critérios de outorga, estabelecida na Tabela 5.5.

Resiliência

As resiliências para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.46, 5.47 e 5.48.

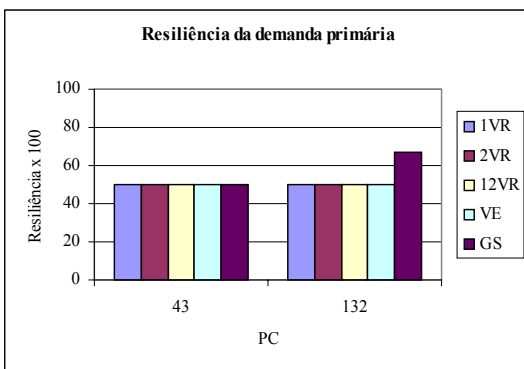


FIGURA 5.46. Resiliência das demandas primárias para a Config. 4 (critérios).

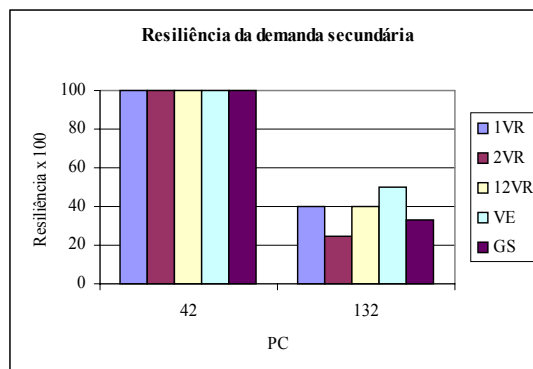


FIGURA 5.47. Resiliência das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios).

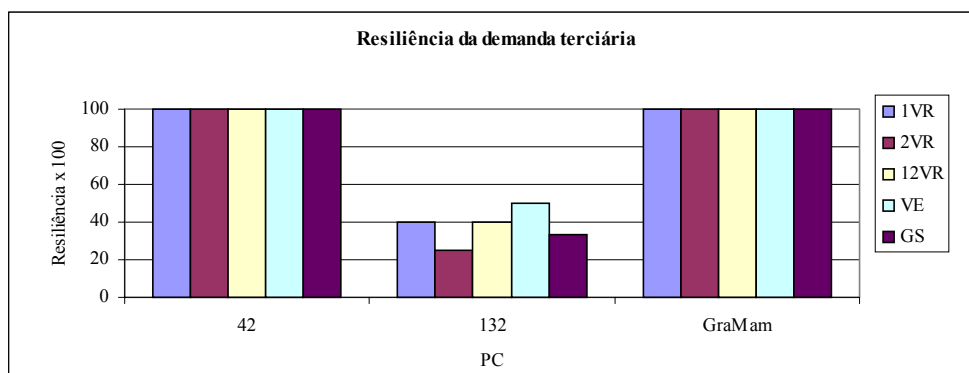


FIGURA 5.48. Resiliência das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios).

As resiliências das demandas primárias dos PCs 42 e 43 (Figura 5.46) apresentaram valores inferiores aos da Configuração 3 (Figura 5.28), sem modificar a ordem de preferência dos critérios de outorga empregados. Conforme previsto, a queda brusca da capacidade de recuperação à ocorrência de falha do PC 43 se deveu ao aumento de sua demanda.

Também houve um decréscimo significativo da resiliência da demanda secundária do PC 132 (Figura 5.47) e uma pequena redução referente à demanda terciária do mesmo (Figura 5.48), ambos acompanhados de alterações da ordem de impacto dos critérios de outorga empregados. Entretanto, essas mudanças apenas vieram a reforçar a ordenação da Configuração 3, também representada pela Tabela 5.5.

Vulnerabilidade

As vulnerabilidades para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.49, 5.50 e 5.51.

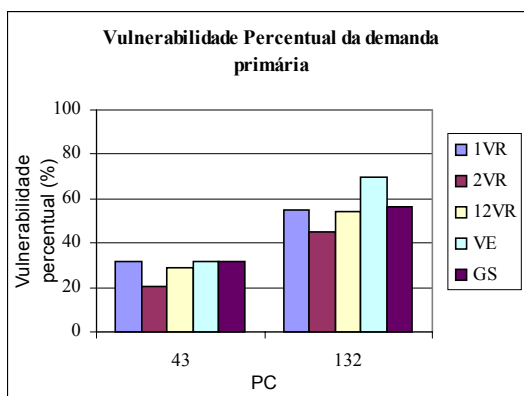


FIGURA 5.49. Vulnerabilidade das demandas primárias para a Config. 4 (critérios).

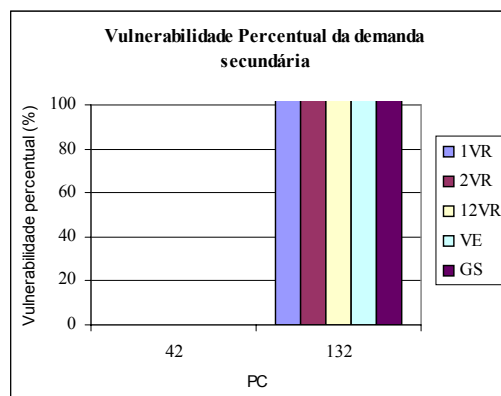


FIGURA 5.50. Vulnerabilidade das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios).

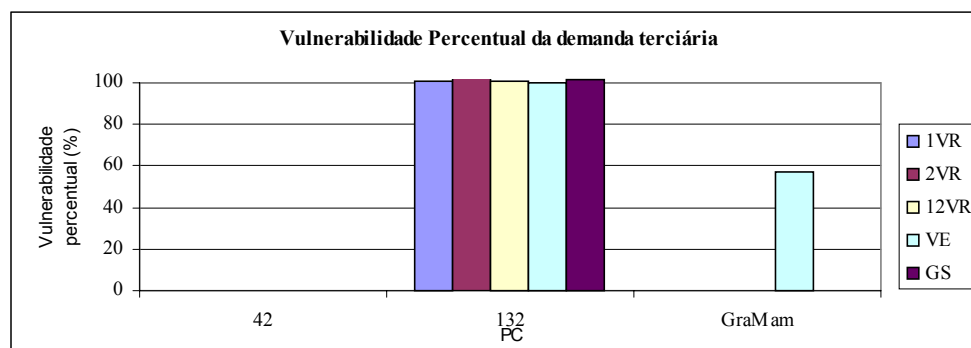


FIGURA 5.51. Vulnerabilidade das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios).

Embora na Figura 5.50 não tenham sido constatadas grandes alterações da vulnerabilidade, as Figuras 5.49 e 5.51 apontaram mudanças da ordenação dos critérios de outorga.

No caso da demanda primária do PC 43 (Figura 5.49), devido ao seu aumento, houve uma elevação da vulnerabilidade percentual que, juntamente com as pequenas alterações deste parâmetro para a demanda primária do PC 132, levaram a seguinte ordem (decrecente) de impactos nas demandas, com relação à Tabela 5.5: GS, VE, 1VR, 2VR e 12VR.

As demandas terciárias (Figura 5.51) que tiveram suas vulnerabilidades percentuais modificadas foram correspondentes aos PCs 132 e GraMam. Para o último PC, a redução da vulnerabilidade com relação à Figura 5.33 deve ter sido causada pelo decréscimo da demanda do PC 132 que, conforme ressaltado anteriormente, permitiu o aumento do volume acumulado do sistema de reservatórios Gramame-Mamuaba. Enquanto o acréscimo da vulnerabilidade da demanda terciária do PC 132 foi resultado da operação zoneada do reservatório, favorecendo o atendimento da demanda primária.

Entretanto, verifica-se que as citadas alterações não provocaram, de modo geral, mudanças no impacto do emprego de cada critério de outorga nas demandas terciárias da bacia, mantendo-se o que foi estabelecido na Tabela 5.5 para as mesmas.

Garantia Volumétrica Mensal Mínima

As garantias volumétricas mensais mínimas para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.52, 5.53 e 5.54.

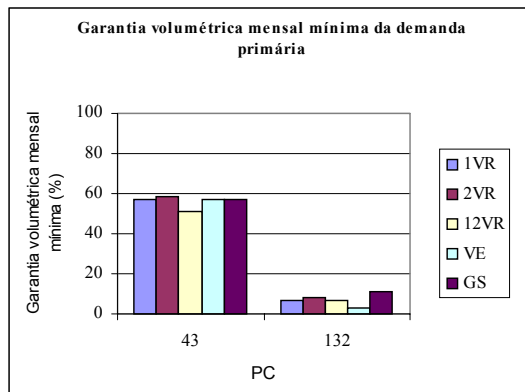


FIGURA 5.52. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config. 4 (critérios).

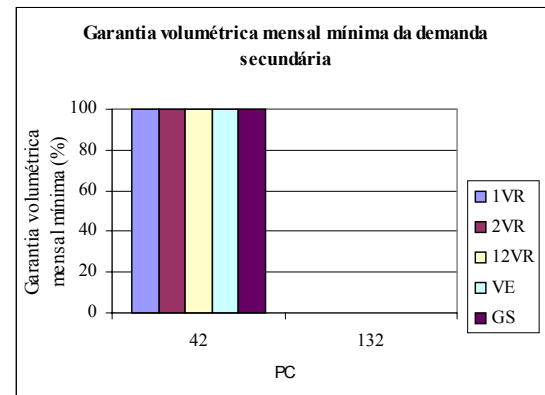


FIGURA 5.53. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config. 4 (critérios).

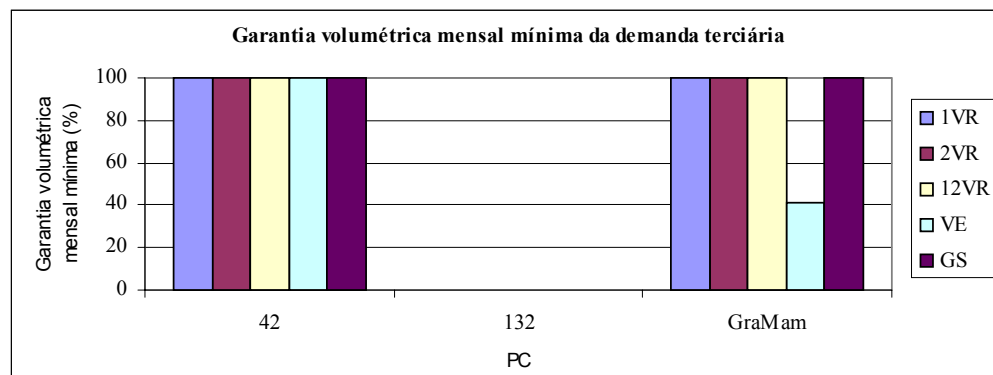


FIGURA 5.54. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config. 4 (critérios).

A queda da garantia volumétrica mensal mínima da demanda primária do PC 43 (Figura 5.52) para em torno de 50% a 60% não provocou, em relação à Configuração 3 (Figura 5.35) e considerando os demais PCs, alterações na ordem de impactos dos critérios de outorga mostrada na Tabela 5.5.

Todavia, o acréscimo observado na garantia mínima mensal da demanda terciária do PC GraMam ocasionou no deslocamento do critério da vazão excedente, que se tornou o critério de maior impacto nas demandas existentes na bacia, no que diz respeito ao parâmetro em questão.

Associação dos Parâmetros de Desempenho

Equiparando a análise dos parâmetros da Configuração 4 com a Tabela 5.5, são verificadas alterações nos impactos da implementação dos critérios de outorga nas demandas

primárias, quanto à vulnerabilidade percentual, e terciárias, quanto à garantia volumétrica mínima mensal.

Assim, considerando essas modificações no arranjo da Tabela 5.5, os critérios de outorga para a Configuração 4 passam a obedecer a seguinte ordem crescente de impacto nas demandas já existentes na bacia do rio Gramame:

- i. Critério da vazão excedente;
- ii. Critério de 2 valores de vazão de referência Q_{90} ;
- iii. Critério de 12 valores mensais de vazão de referência Q_{90} ;
- iv. Critério da vazão de referência Q_{90} ;
- v. Critério da garantia de suprimento.

5.3 INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE OUTORGA

Nesse item é avaliada a sensibilidade da bacia do rio Gramame, no que diz respeito às demandas existentes, à introdução da qualidade da água no processo de outorga através da outorga para diluição de despejos.

Para tal, conforme exposto no Capítulo 4, foram simuladas as seguintes possibilidades de introdução da vazão de diluição na bacia:

- Demanda para diluição da carga de DBO proveniente de efluentes domésticos e industriais;
- Demanda para diluição da carga de DBO existente no rio e proveniente de efluentes domésticos e industriais;
- Demanda para diluição da carga de DBO existente no rio e proveniente de efluentes domésticos e industriais, considerando o processo de autodepuração simplificado pelo uso de coeficientes de depuração.

5.3.1 Resultados

Os parâmetros de avaliação de desempenho, obtidos com base nos resultados do modelo PROPAGAR MOO para cada cenário das Tabelas 4.22 a 4.25 do Capítulo 4, constam no Anexo 5.

5.3.2 Análise e Comparação dos Resultados

Para a verificação do impacto das possibilidades de implementação da vazão de diluição na bacia do rio Gramame, descritas anteriormente, novamente as quatro configurações de infra-estrutura, demanda e regra operacional são avaliadas individualmente, com base nos parâmetros de desempenho.

Conforme destacado no Capítulo 4, os principais lançamentos na bacia são os efluentes do Distrito Industrial de João Pessoa (PC 48) e os esgotos domésticos dos municípios de Conde (PC 194) e Pedras de Fogo (PC 347). Assim, apenas é necessária a análise desses PCs e daqueles que têm suas demandas afetadas pela consideração da vazão de diluição, quais sejam os PCs de jusante e os reservatórios que os suprem, caso existam.

Entretanto, vale lembrar que as demandas requeridas para diluição de efluentes foram inseridas em PCs fictícios, imediatamente a jusante dos PCs 48, 194 e 347. Para efeito de análise, esses pontos de controle que foram substituídos por dois são representados pelos PCs fictícios, uma vez que as demandas de montante do PC original não sofrerão alterações.

Portanto, os PCs considerados nessa análise são:

- Afetados pelos efluentes do Distrito Industrial de João Pessoa: 42, 43 e 48fic, os dois primeiros devido à operação do reservatório Mumbaba, exceto na Configuração 1;
- Afetados pelos esgotos do Conde: 133 e 194fic;
- Afetados pelos efluentes domésticos de Pedras de Fogo: 132, 302, 328, 347fic e GraMam.

No caso da demanda primária, apenas foram considerados na análise os PCs que, além da demanda ecológica, contemplassem o abastecimento urbano, pelas mesmas razões expostas na análise dos critérios de outorga.

Como a consideração da concentração de DBO do rio como demanda foi uma forma concebida visando impedir o lançamento de poluentes no mesmo, acima da concentração máxima permitida, esta demanda também não será analisada quanto ao seu suprimento. Isto é, a vazão de diluição requerida pelo rio foi considerada somente com o intuito de verificar se a sua inclusão afetaria de forma significativa as demandas para diluição dos despejos.

a) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual (Configuração 1)

Como o PC 48fic não é submetido à operação de nenhum reservatório, bem como não há demandas a jusante do mesmo, sua análise contempla apenas o suprimento da demanda para diluição dos despejos do DI de João Pessoa.

Com base nos parâmetros de desempenho dos Anexos A.5.1 a A.5.3, são obtidas as Figuras 5.55 a 5.76 mostradas a seguir, representativas de cada parâmetro por categoria de demanda e referentes aos cenários CVE_01, CVE_02 e CVE_03 da Tabela 4.22.

Garantia Volumétrica

As garantias volumétricas para a Configuração 1 são mostradas nas Figuras 5.55 a 5.58.

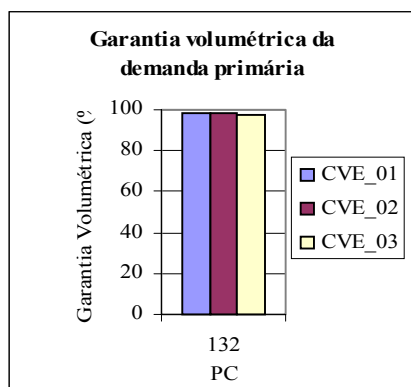


FIGURA 5.55. Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config.1 (qualidade).

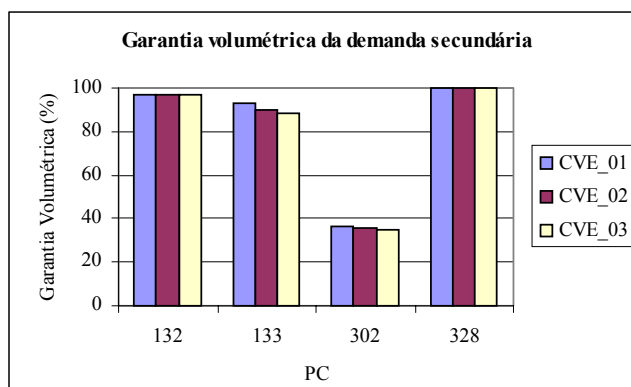


FIGURA 5.56. Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade).

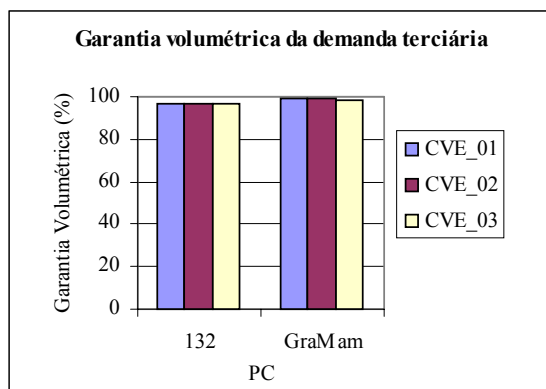


FIGURA 5.57. Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade).

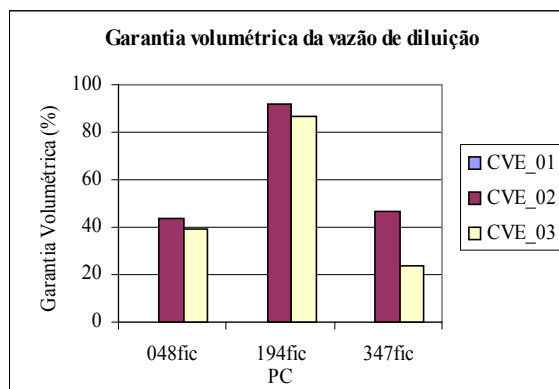


FIGURA 5.58. Garantia volumétrica das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade).

Garantia Temporal

As garantias temporais para a Configuração 1 são mostradas nas Figuras 5.59 a 5.62.

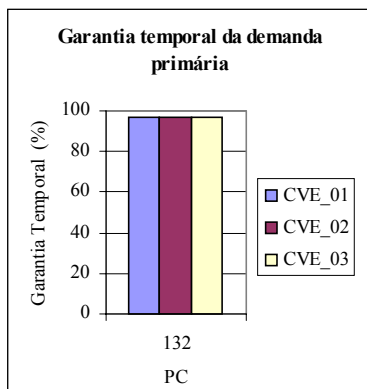


FIGURA 5.59. Garantia temporal das demandas primárias para a Config.1 (qualidade).

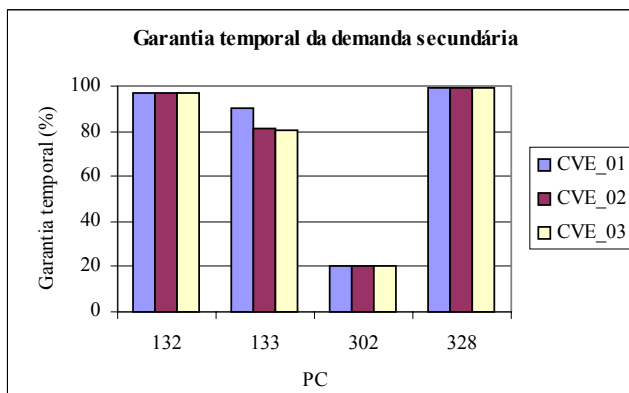


FIGURA 5.60. Garantia temporal das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade).

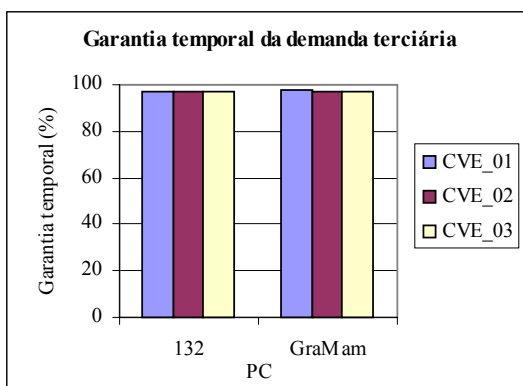


FIGURA 5.61. Garantia temporal das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade).

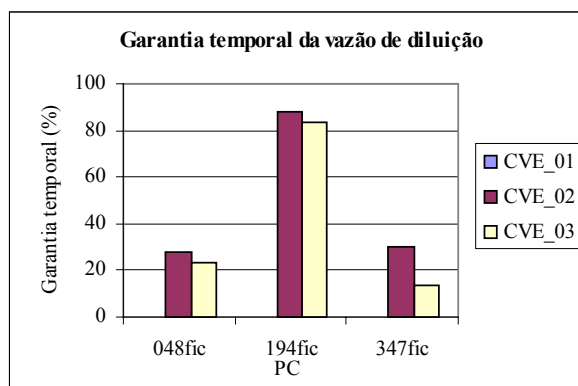


FIGURA 5.62. Garantia temporal das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade).

Garantia Crítica Temporal

As garantias críticas temporais para a Configuração 1 são mostradas nas Figuras 5.63 a 5.66.

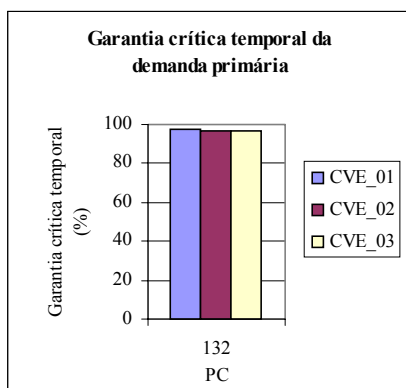


FIGURA 5.63. Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config.1 (qualidade).

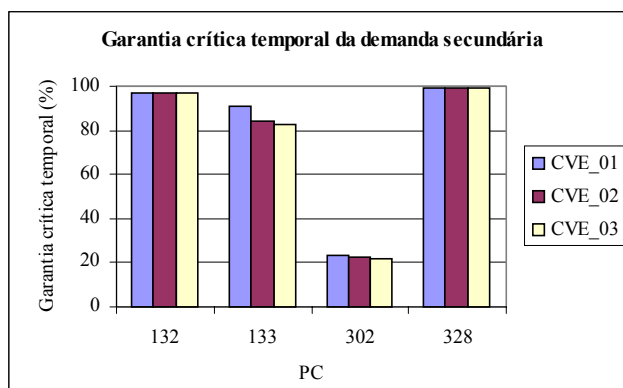


FIGURA 5.64. Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade).

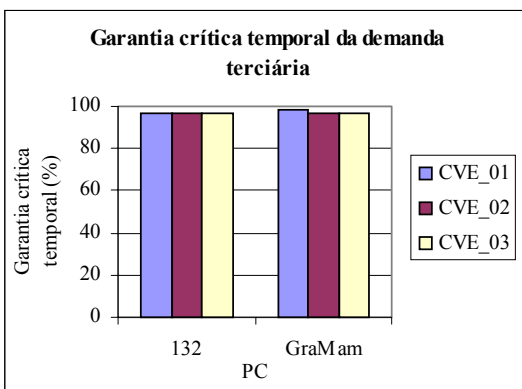


FIGURA 5.65. Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade).

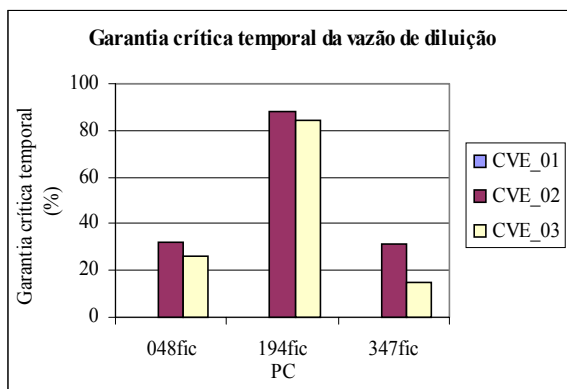


FIGURA 5.66. Garantia crítica temporal das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade).

Resiliência

As resiliências para a Configuração 1 são mostradas nas Figuras 5.67 a 5.70.

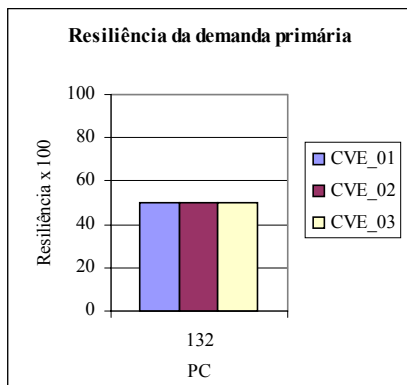


FIGURA 5.67. Resiliência das demandas primárias para a Config.1 (qualidade).

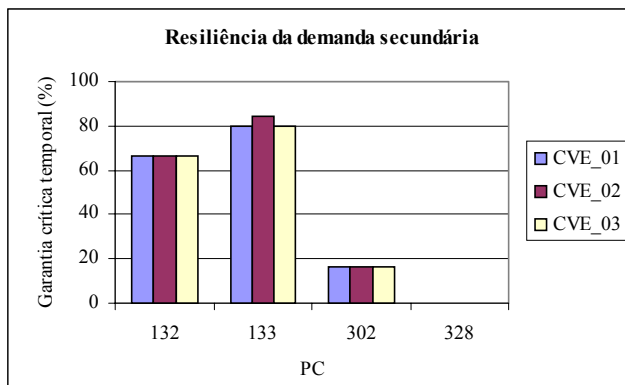


FIGURA 5.68. Resiliência das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade).

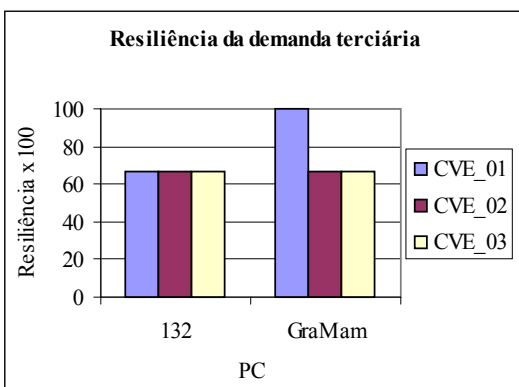


FIGURA 5.69. Resiliência das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade).

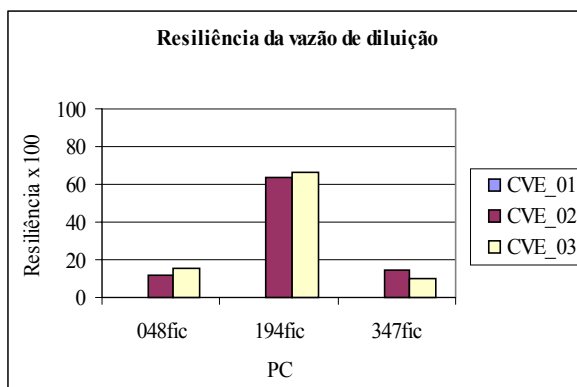


FIGURA 5.70. Resiliência das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade).

Garantia Volumétrica Mensal Mínima

Como os valores das garantias volumétricas mínimas observadas no mês, referentes às demandas terciárias e à vazão de diluição, são todas nulas, as Figuras 5.71 e 5.72 mostram esse parâmetro apenas para as demandas primárias e secundárias, respectivamente.

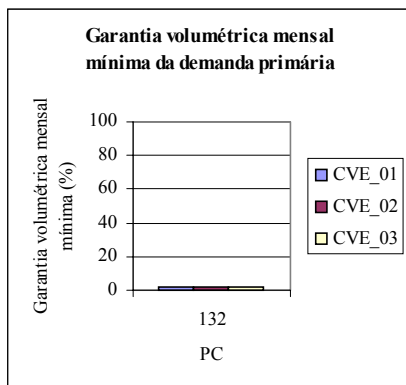


FIGURA 5.71. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config.1 (qualidade).

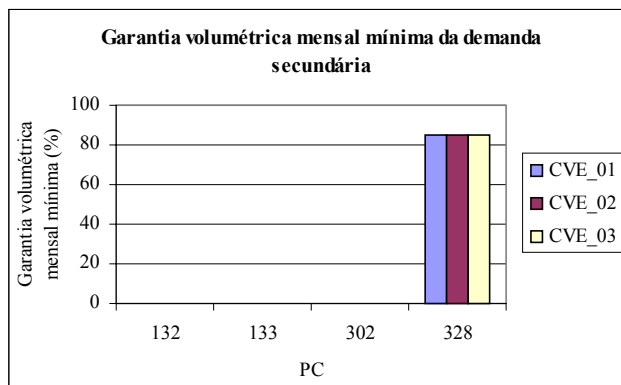


FIGURA 5.72. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade).

Vulnerabilidade

Da mesma forma que o item 5.2, aqui as vulnerabilidades de cada demanda são representadas pelas vulnerabilidades percentuais, mostradas nas Figuras 5.73 a 5.76.

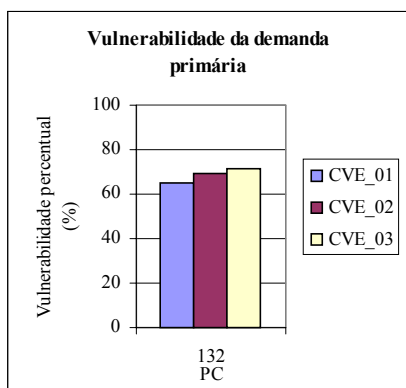


FIGURA 5.73. Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config.1 (qualidade).

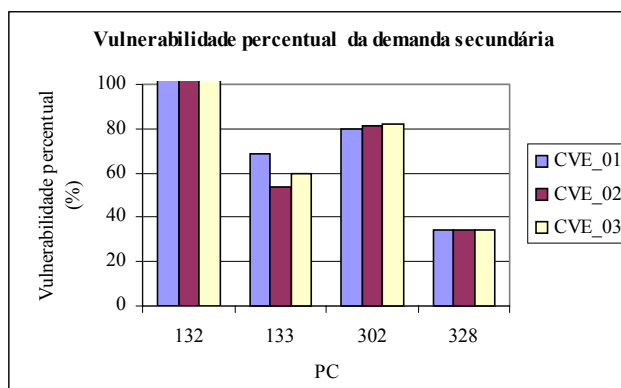


FIGURA 5.74. Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config.1 (qualidade).

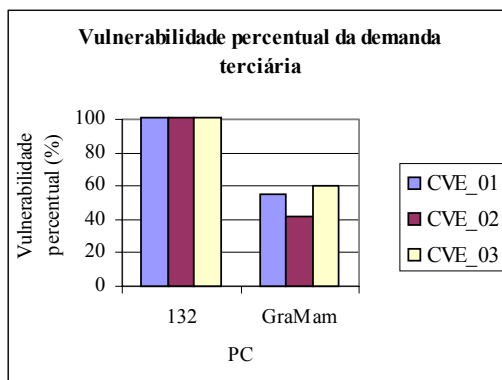


FIGURA 5.75. Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config.1 (qualidade).

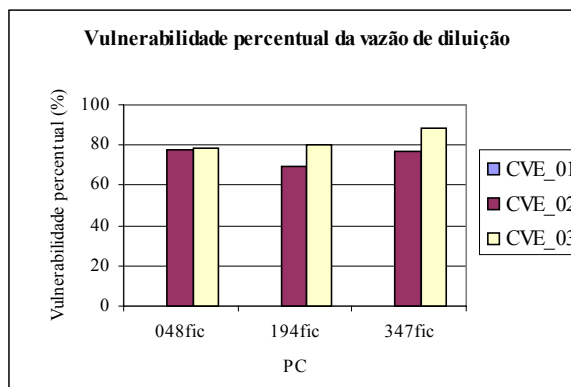


FIGURA 5.76. Vulnerabilidade percentual das vazões de diluição para a Config.1 (qualidade).

Análise Conjunta dos Parâmetros de Desempenho

Pela observação das figuras correspondentes aos parâmetros de desempenho das demandas primária, secundária e terciária, de modo geral, constata-se que a consideração da vazão de diluição como demanda na bacia do rio Gramame (cenário CVE_02) pouco afetou o suprimento dos PCs 132, 302, 328 e GraMam.

Entretanto, a capacidade de recuperação à ocorrência de falha (resiliência) do PC GraMam (Figura 5.69) e sua vulnerabilidade (Figura 5.75) foram reduzidas. Porém, a queda da vulnerabilidade pode significar somente que o número de falhas menos severas, ou seja, que deixaram de atender pequenos volumes, aumentou, fazendo com que a média dos volumes que deixou de ser atendida (vulnerabilidade) diminuísse.

A consideração das vazões de diluição do próprio rio (cenário CVE_03) também não influenciou de forma significativa os parâmetros das demandas primária, secundária e terciária dos PCs 132, 302, 328 e GraMam.

No caso da demanda secundária do PC 133, a piora dos parâmetros de desempenho foi bem mais significativa que para os PCs citados, tanto para o referido cenário CVE_03, quanto para o CVE_02. Porém, as variações com relação ao cenário CVE_01 não foram superiores a 10% para a garantia volumétrica (Figura 5.56), garantia temporal (Figura 5.60) e garantia crítica temporal (Figura 5.64), ainda demonstrando a pouca influência da consideração da vazão de diluição.

Quanto ao suprimento das demandas para diluição de despejos (cenário CVE_02), pelas Figuras 5.58, 5.62 e 5.66 verifica-se o quão superiores à capacidade de assimilação dos cursos d'água são as vazões requeridas para diluição dos despejos industriais do DI de João Pessoa (PC 48fic) e dos esgotos domésticos de Pedras de Fogo (PC 347fic).

Apenas pouco mais de 40% das vazões de diluição do DI e do PC 347fic são atendidas (Figura 5.58), e somente em cerca de 20% do tempo têm suas demandas totalmente supridas (Figura 5.62). As baixas garantia crítica temporal, resiliência e a vulnerabilidade da vazão de diluição dos citados PCs (Figuras 5.66, 5.70 e 5.76) vêm a reforçar ainda mais esse quadro alarmante.

A consideração da DBO existente nos cursos d'água (cenário CVE_03), conforme esperado, agravou um pouco mais o suprimento das demandas de diluição, tendo reflexo significativo apenas nos parâmetros de desempenho do PC 347fic. Entretanto, cabe lembrar que o cálculo das vazões de diluição do rio para esse PC não teve por base medições efetuadas em estações de amostragem da qualidade da água (ver Capítulo 4).

É ainda interessante frisar que toda essa análise partiu do pressuposto da vazão máxima outorgável variar com a disponibilidade natural no curso d'água (critério da vazão excedente). Assim, por esse critério permitir uma maior utilização de água na bacia (item 5.2), a adoção de um critério de outorga distinto implicaria numa situação mais crítica de suprimento da vazão de diluição.

Para a vazão de diluição do PC 194fic, os parâmetros de desempenho mostraram resultados satisfatórios, conforme se observa nas Figuras 5.58, 5.62, 5.66, 5.70 e 5.76.

b) Demandas Hídricas de 2005 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 2)

Com a construção do reservatório planejado Mumbaba no PC 42 (cenários CVE_04, CVE_05 e CVE_06 da Tabela 4.23), o suprimento da vazão de diluição do PC 48fic fica submetido à operação do mesmo e, conseqüentemente, a demanda para diluição desses despejos passa a interferir no abastecimento dos PCs 42 e 43, que também dependem do volume de água no reservatório.

Entretanto, a implementação do referido reservatório não interfere nos demais PCs afetados pela consideração de vazão de diluição nos PCs 194fic e 347fic e analisados na Configuração 1. Logo, valem aqui também as considerações e comentários dos parâmetros dessa configuração para as demandas dos PCs 132, 133, 194fic, 302, 328, 347fic e GraMam.

Assim, com base nos Anexos A.5.4 a A.5.6, são obtidas as Figuras 5.77 a 5.82, representativas dos parâmetros de desempenho de todas as categorias de demanda dos PCs 42, 43 e 48fic, com a seguinte correspondência: 43pri - demanda primária do PC 43; 42sec e 42ter - demandas secundária e terciária do PC 42, respectivamente; e 48fic - vazão de diluição do PC 48fic.

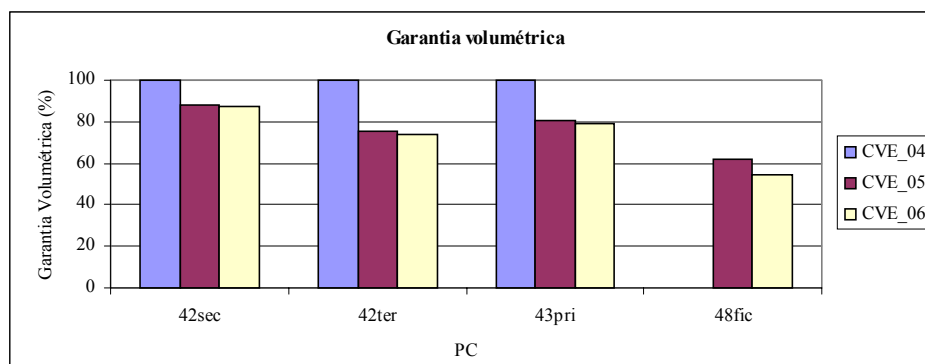


FIGURA 5.77. Garantia volumétrica das demandas para a Config. 4 (qualidade).

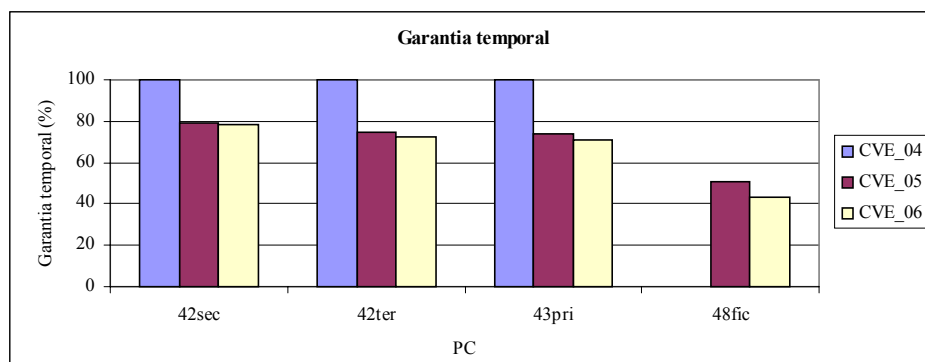


FIGURA 5.78. Garantia temporal das demandas para a Config. 4 (qualidade).

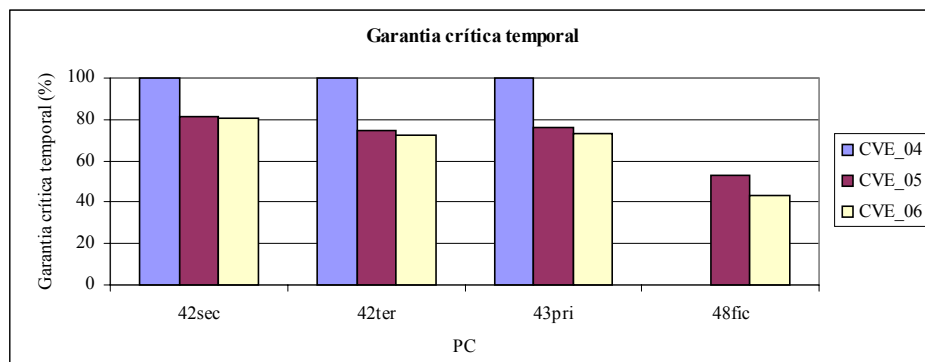


FIGURA 5.79. Garantia crítica temporal das demandas para a Config. 4 (qualidade).

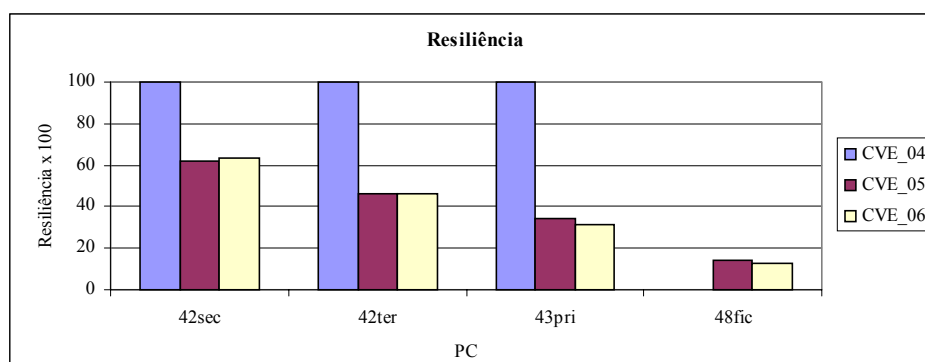


FIGURA 5.80. Resiliência das demandas para a Config. 4 (qualidade).

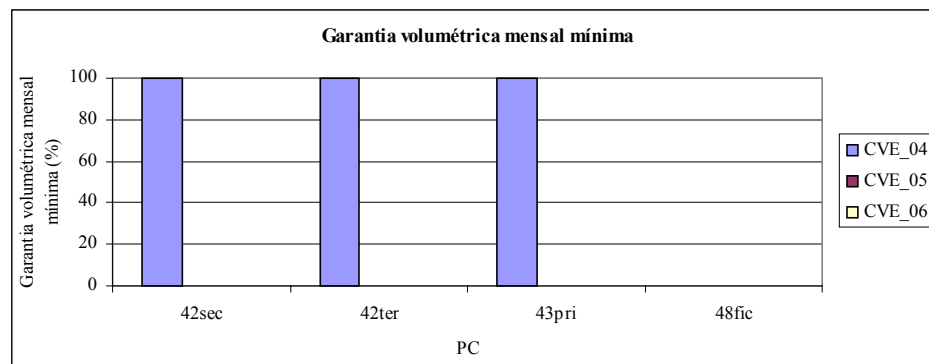


FIGURA 5.81. Garantia volumétrica mínima mensal das demandas para a Config. 4 (qualidade).

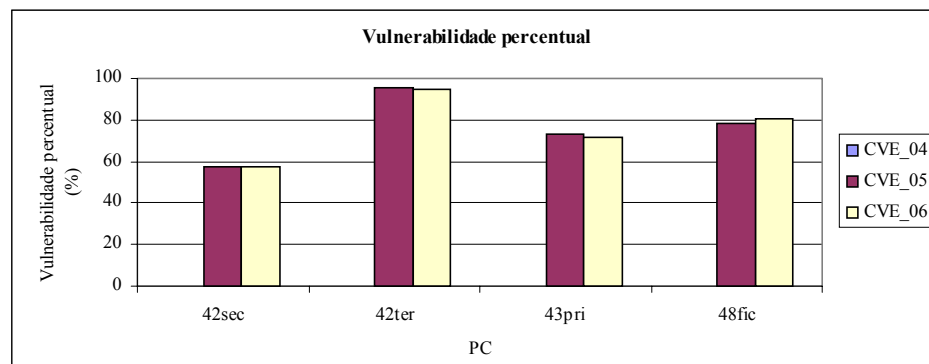


FIGURA 5.82. Vulnerabilidade percentual das demandas para a Config. 4 (qualidade).

De acordo com as Figuras 5.77, 5.78 e 5.79, respectivamente, observa-se que as garantias volumétrica, temporal e crítica temporal das demandas dos PCs 42 e 43 sofreram uma redução de 20% a 30%, com a consideração da vazão de diluição requerida pelo PC 48 fic (cenário CVE_05). No cenário CVE_04 (sem vazão de diluição), todas essas demandas eram supridas em 100% do tempo.

O quadro se torna alarmante com a vazão de diluição, principalmente quando se constata, pela Figura 5.81, que a garantia volumétrica mensal mínima observada dessas demandas caiu drasticamente de 100% (cenário CVE_04) para 0% (cenário CVE_05), ou seja, há um determinado mês (ou meses) no qual nada da demanda requerida é suprida. Conseqüentemente, o percentual do volume requerido que deixou de ser atendido na ocorrência de falha (vulnerabilidade percentual) subiu sensivelmente, conforme mostra a Figura 5.82. Para a demanda secundária do PC 42 a vulnerabilidade foi em torno de 60%, enquanto para a demanda terciária do mesmo PC e primária do PC 43 foram, respectivamente, cerca de 90% e 70%.

Além disso, a capacidade de recuperação à ocorrência de falhas (resiliência), apresentada na Figura 5.80, também foi gravemente comprometida com a consideração da vazão de diluição (CVE_05).

Esse agravamento do abastecimento dos referidos PCs (42 e 43), observado pelos parâmetros de desempenho, é reflexo da liberação da água do reservatório Mumbaba para o suprimento da alta demanda de diluição do PC 48fic em alguns meses. Por conseguinte, o armazenamento é diminuído nesses meses, tornando o volume disponível no reservatório insuficiente para suprir as demandas que dele dependem nos meses subseqüentes.

A consideração da concentração de DBO existente nos cursos d'água como demanda (cenário CVE_06) afetou os parâmetros das demandas dos PCs 42 e 43 de forma pouco significativa, quando comparados aos do cenário CVE_05.

Quanto à vazão requerida no PC 48fic para diluição de despejos, verifica-se que, mesmo com o reservatório Mumbaba liberando água para seu suprimento, as correspondentes garantias volumétrica, temporal e crítica temporal (Figuras 5.77, 5.78 e 5.79, respectivamente) não saem da faixa de 50% a 60% para o cenário CVE_05. Comprovando a inviabilidade de despejo da vazão de diluição requisitada, a resiliência se apresentou muito baixa (Figura 5.80), enquanto a vulnerabilidade atingiu um percentual de 80% (Figura 5.82).

Quando foi considerada a vazão de diluição requerida pelo próprio rio (cenário CVE_06), as garantias correspondentes à demanda de diluição do PC 48fic sofreram um decréscimo de cerca de 10%, não se observando alterações significativas na resiliência e vulnerabilidade (Figuras 5.81 e 5.82).

c) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba (Configuração 3)

As mudanças das demandas hídricas na bacia do rio Gramame, no horizonte de 2010, foram conseqüência da projeção populacional dos municípios de Conde (PC 194) e Pedras de Fogo (PC 347), e da Grande João Pessoa (PC 132).

Assim, como as demanda dos PCs 42, 43 e 48fic não são alteradas, bem como não é considerado processo de depuração dos efluentes lançados nesse último PC, por não haver usuários a jusante do mesmo, a análise dos parâmetros de desempenho desses PCs é similar à da Configuração 2.

Dessa forma, a avaliação que se segue é referente apenas aos parâmetros de desempenho dos PCs 132, 133, 194fic, 302, 328, 347fic e GraMam.

A seguir, são mostrados os parâmetros de desempenho desses PCs, baseados nos Anexos A.5.7 a A.5.12, para avaliar a sensibilidade das demandas existentes na bacia à consideração da demanda para diluição, e a relevância da demanda de DBO existente no rio e da capacidade depurativa da DBO nos cenários da Tabela 4.24.

Garantia Volumétrica

As garantias volumétricas para a Configuração 3 são mostradas nas Figuras 5.83 a 5.86.

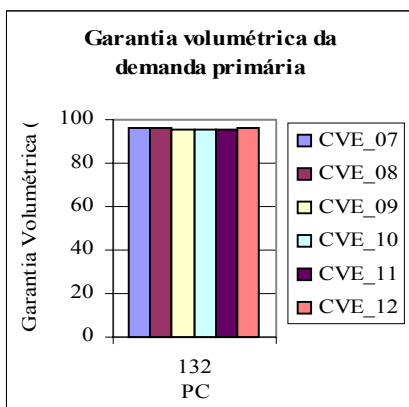


FIGURA 5.83. Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config.3 (qualidade).

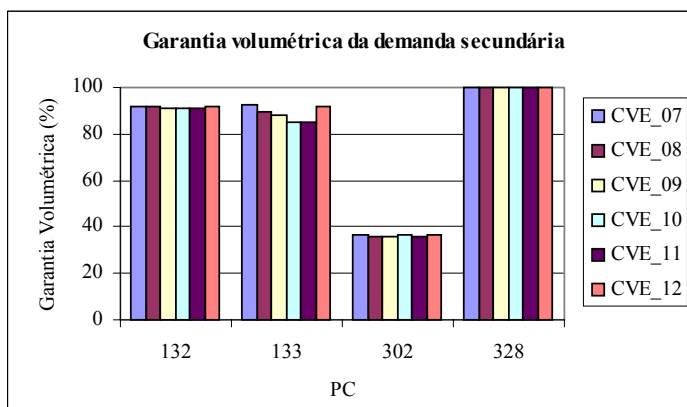


FIGURA 5.84. Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade).

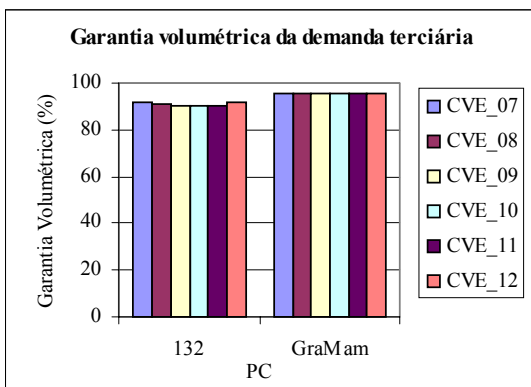


FIGURA 5.85. Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade).

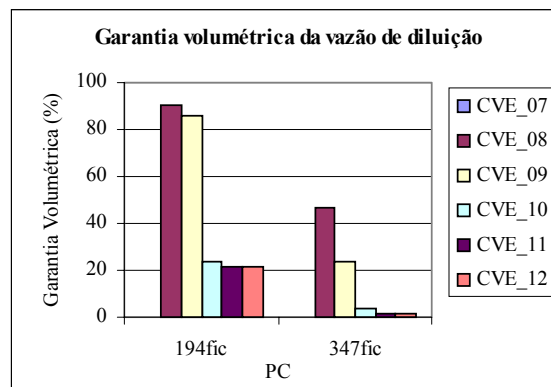


FIGURA 5.86. Garantia volumétrica das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade).

Garantia Temporal

As garantias temporais das demandas para a Configuração 3 são mostradas nas Figuras 5.87 a 5.90.

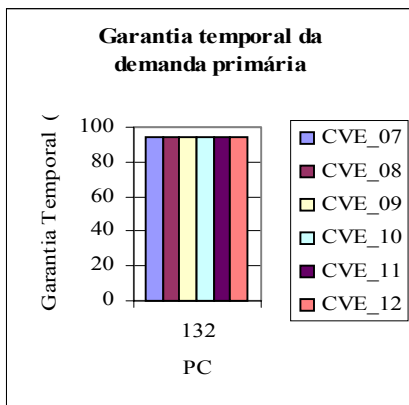


FIGURA 5.87. Garantia temporal das demandas primárias para a Config.3 (qualidade).

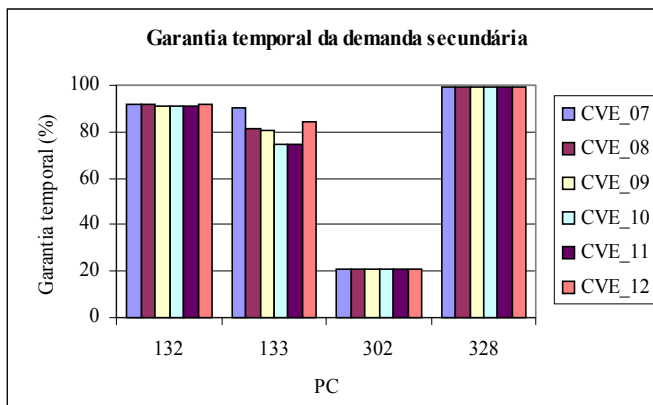


FIGURA 5.88. Garantia temporal das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade).

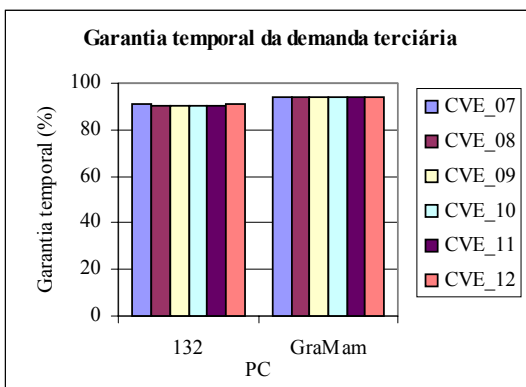


FIGURA 5.89. Garantia temporal das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade).

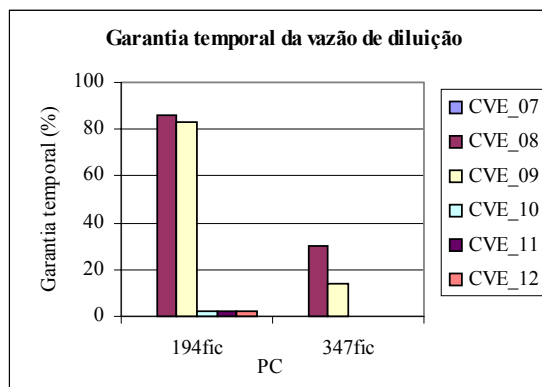


FIGURA 5.90. Garantia temporal das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade).

Garantia Crítica Temporal

As garantias críticas temporais para a Configuração 3 são mostradas nas Figuras 5.91 a 5.94.

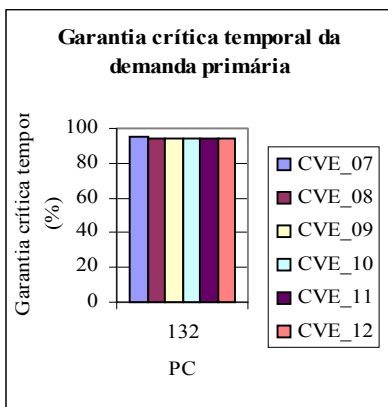


FIGURA 5.91. Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config.3 (qualidade).

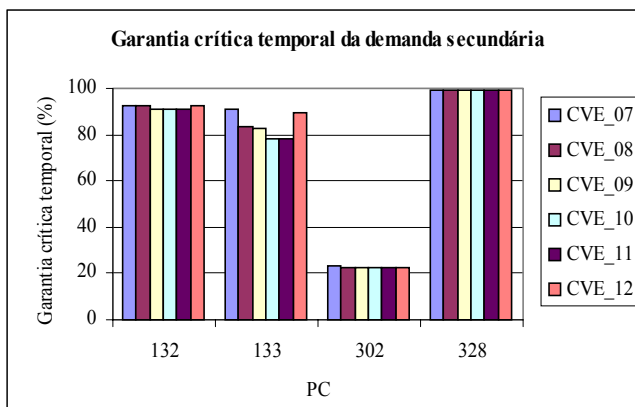


FIGURA 5.92. Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade).

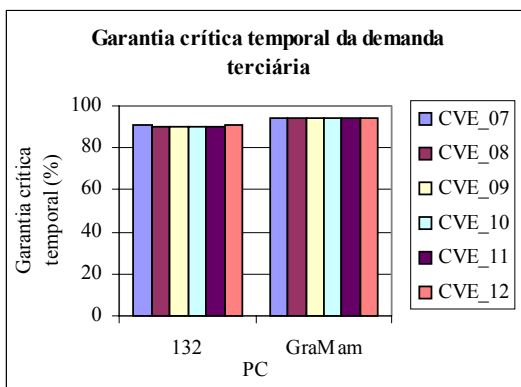


FIGURA 5.93. Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade).

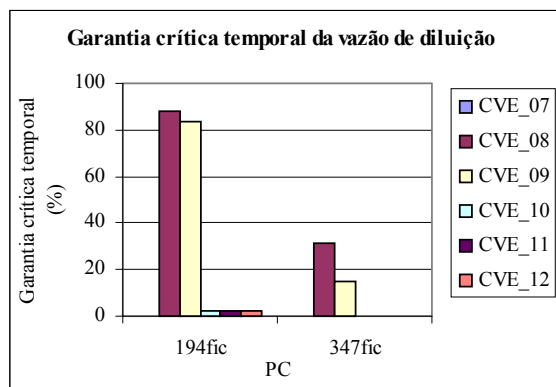


FIGURA 5.94. Garantia crítica temporal das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade).

Resiliência

As resiliências para a Configuração 3 são mostradas nas Figuras 5.95 a 5.98.

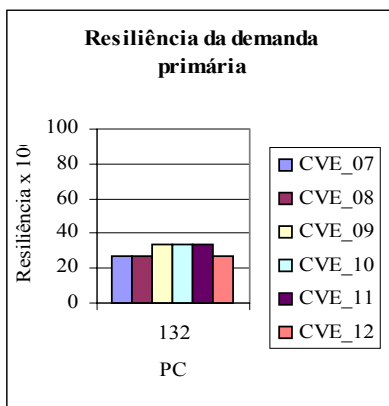


FIGURA 5.95. Resiliência das demandas primárias para a Config.3 (qualidade).

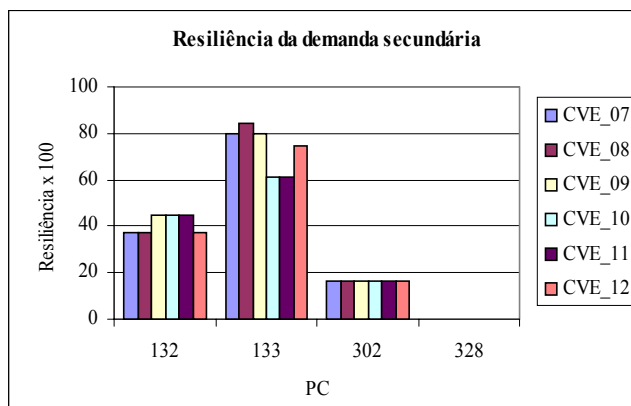


FIGURA 5.96. Resiliência das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade).

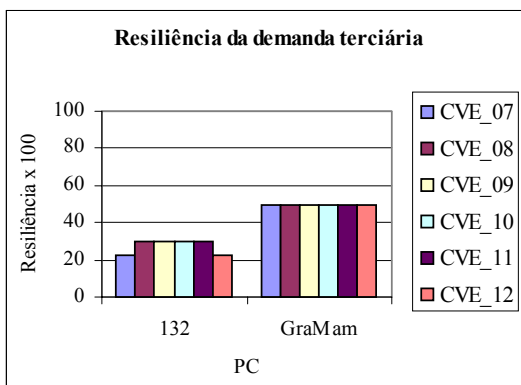


FIGURA 5.97. Resiliência das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade).

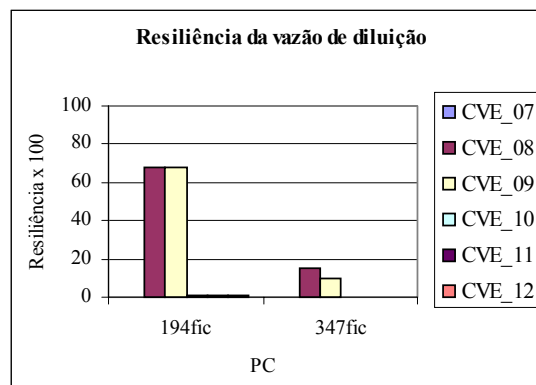


FIGURA 5.98. Resiliência das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade).

Garantia Volumétrica Mensal Mínima

Como os valores das garantias volumétricas mínimas observadas no mês, referentes às demandas terciárias e à vazão de diluição, são todas nulas, as Figuras 5.99 e 5.100 mostram esse parâmetro apenas para as demandas primárias e secundárias, respectivamente.

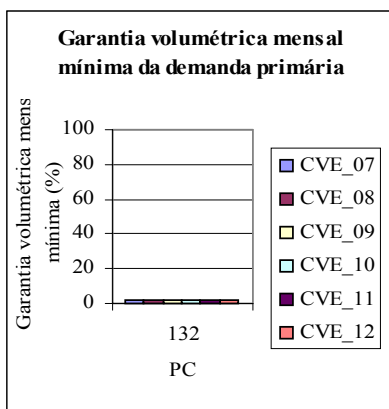


FIGURA 5.99. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config.3 (qualidade).

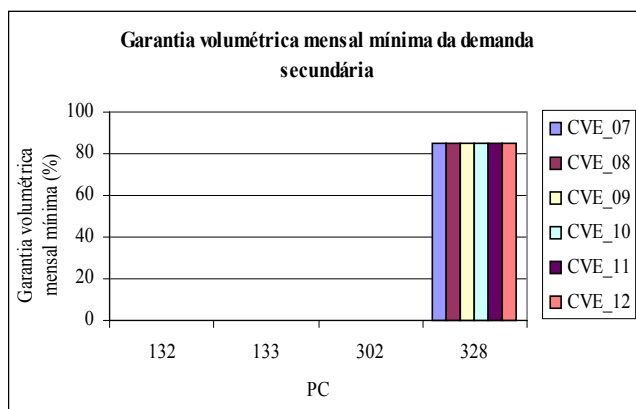


FIGURA 5.100. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade).

Vulnerabilidade

As vulnerabilidades percentuais para cada demanda são mostradas nas Figuras 5.101 a 5.104.

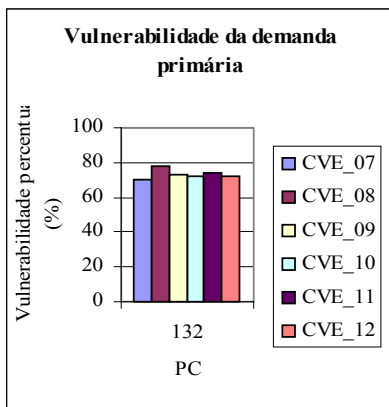


FIGURA 5.101. Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config.3 (qualidade).

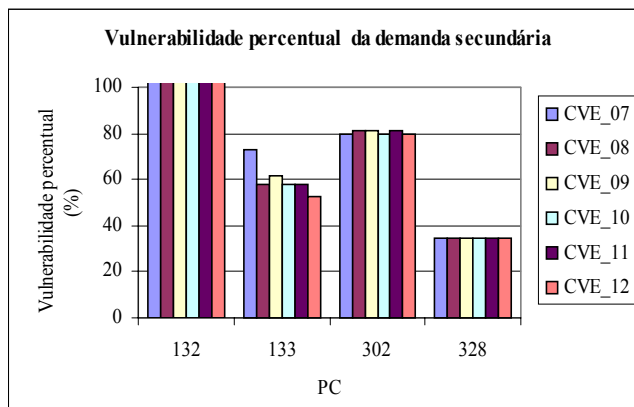


FIGURA 5.102. Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config.3 (qualidade).

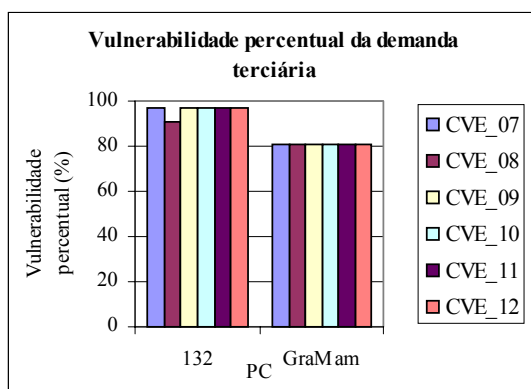


FIGURA 5.103. Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config.3 (qualidade).

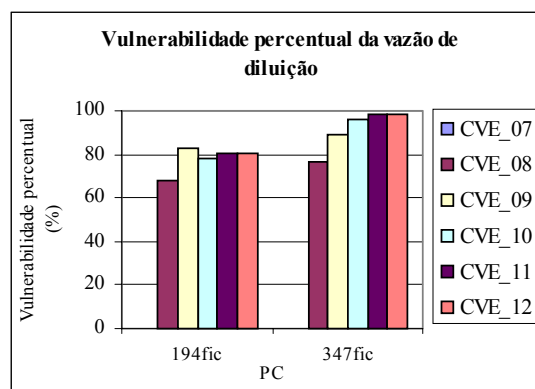


FIGURA 5.104. Vulnerabilidade percentual das vazões de diluição para a Config.3 (qualidade).

Análise Conjunta dos Parâmetros de Desempenho

De acordo com a Tabela 4.24, o processo de autodepuração simplificado foi simulado apenas para a hipótese II de vazão de diluição, sendo os cenários CVE_10, CVE_11 e CVE_12 correspondentes a essa hipótese, enquanto os demais correspondem às vazões de diluição das configurações anteriormente analisadas (hipótese I).

Conforme dito no Capítulo 4, a hipótese I considera o lançamento atual nos cursos d'água do esgotamento das cidades de Conde e Pedras de Fogo, enquanto a hipótese II considera o despejo de todos os efluentes gerados por essas cidades.

Assim, a análise que se segue é efetuada em duas partes. Na primeira parte, de forma similar ao efetuado nas configurações anteriores, apenas é avaliado o impacto da consideração da demanda para diluição sobre as demandas existentes na bacia e o suprimento dessas vazões de diluição. Isso é efetivado pela comparação do cenário sem vazão de diluição (CVE_07) com o cenário que considera a vazão de diluição dos despejos segundo a hipótese I (CVE_08) e, além desta última, a demanda para diluição do próprio rio (CVE_09).

Na segunda parte, correspondente às vazões de diluição calculadas segundo a hipótese II (cenários CVE_10, CVE_11 e CVE_12), além da comparação acima, tem-se o intuito de aferir sobre a relevância do processo de autodepuração na minimização dos conflitos de uso da água na bacia, pela liberação de água para os usuários de jusante.

As figuras acima representativas dos parâmetros de desempenho para os cenários CVE_07, CVE_08 e CVE_09, que contemplam a hipótese I, podem ser confrontadas com as relativas aos cenários da Configuração 1 (CVE_01, CVE_02 e CVE_03, respectivamente).

Através dessa comparação foi possível observar que, de modo geral, tanto a consideração da vazão de diluição dos efluentes, quanto a simulação de forma conjunta com a

diluição do próprio rio, provocaram impactos similares aos da Configuração 1 nas demandas dos PCs 132, 133, 194fic, 302, 328, 347fic e GraMam.

Dessa forma, embora tenha havido acréscimos em algumas demandas da bacia em 2010 com relação a 2005, as conclusões e considerações da análise conjunta dos parâmetros de desempenho dos citados PCs para a Configuração 1 também cabem no contexto da Configuração 3 em questão, para os cenários da hipótese I.

Considerando a hipótese II de cálculo da vazão de diluição (cenários CVE_10 e CVE_11), onde as demandas para diluição de despejos são bem maiores, verifica-se que não houve alterações significativas dos parâmetros de desempenho das demandas dos PCs 132, 302, 328 e GraMam com relação aos correspondentes à hipótese I (CVE_08 e CVE_09). Entretanto, a demanda secundária do PC 133 sofreu maiores reflexos do aumento da vazão de diluição, o que é facilmente verificado nas Figuras 5.84, 5.88, 5.92 e 5.96, representativas da garantia volumétrica, garantia temporal, garantia crítica temporal e resiliência, respectivamente.

Essa insignificante influência do grande aumento da vazão de diluição dos PCs 194fic e 347fic (ver Tabela 4.16) nos PCs de jusante, conforme dito anteriormente, deve-se à baixa capacidade de assimilação dos respectivos cursos d'água, que limita o aumento da vazão de diluição requerida que é atendida.

A impossibilidade de aumento da demanda de diluição nos citados PCs é confirmada pelos parâmetros de desempenho para tal demanda, segundo a hipótese II (CVE_10 e CVE_11). As garantias temporal e crítica temporal da vazão de diluição, além da resiliência, apresentaram-se nas Figuras 5.90, 5.94 e 5.98, respectivamente, próximas a zero no PC 194fic e nulas no PC 347fic.

Visando disponibilizar mais água no processo de outorga para os usos de jusante, a autodepuração das cargas lançadas nos PCs 194fic e 347fic foi considerada no cenário CVE_12, através dos coeficientes de depuração. Entretanto, como pouco da demanda para diluição de despejos foi atendida, é de se esperar que a liberação de vazão por esse processo não afete de forma significativa o suprimento das demandas de jusante.

Embora o abastecimento da demanda secundária do PC 133 tenha apresentado nas Figuras 5.84, 5.88, 5.92 e 5.96, respectivamente, uma melhoria das garantias volumétrica, temporal e crítica temporal, juntamente com a resiliência, realmente as demais demandas não mostraram alterações significativas com a consideração do processo simplificado de autodepuração. Logo, isso demonstra que as vazões liberadas pelo processo de autodepuração não são significativas a ponto de aumentar as vazões disponibilizadas para os PCs de jusante na bacia do rio Gramame com a Configuração 3.

d) Demandas Hídricas de 2010 + Infra-Estrutura Atual + Reservatório Mumbaba Operando com Demanda para GJP de 1.000 l/s + Nível de Racionamento de 50% (Configuração 4)

As alterações dessa configuração com relação à Configuração 3 são o aumento da demanda da GJP no PC 43 para 1.000 l/s, atendida pelo reservatório Mumbaba (PC 42), e a conseqüente redução do suprimento da mesma pelo PC 132 para 1.973,33 l/s (Tabela 4.4). Além disso, foi imposto um nível de racionamento de 50% do volume útil dos reservatórios Gramame-Mamuaba e Mumbaba.

Dessa forma, são considerados nos cenários relativos a essa configuração (Tabela 4.25) apenas os parâmetros das demandas dos PCs 42, 43, 48fic, GraMam e 132, que são os PCs afetados pelas mudanças ocorridas. As considerações sobre os demais PCs são equivalentes às expostas na análise dos parâmetros de desempenho da Configuração 3.

As figuras que se seguem têm por base os parâmetros dos Anexos A.5.13 a A.5.18, apresentadas no Anexo 5.

Garantia Volumétrica

As garantias volumétricas para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.105 a 5.108.

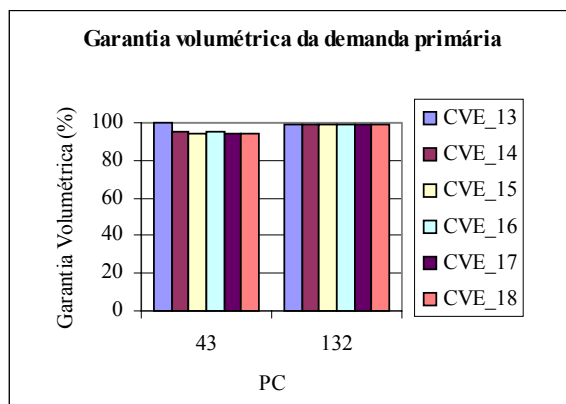


FIGURA 5.105. Garantia volumétrica das demandas primárias para a Config.4 (qualidade).

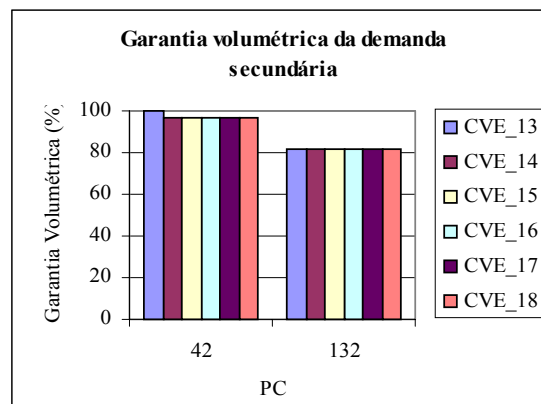


FIGURA 5.106. Garantia volumétrica das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade).

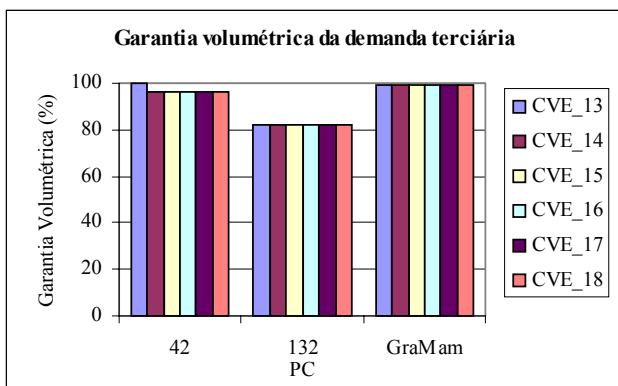


FIGURA 5.107. Garantia volumétrica das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade).

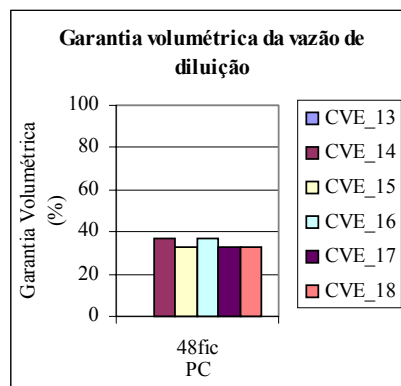


FIGURA 5.108. Garantia volumétrica das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade).

Garantia Temporal

As garantias temporais para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.109 a 5.112.

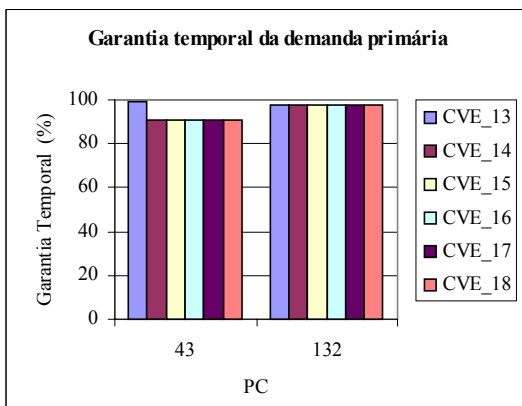


FIGURA 5.109. Garantia temporal das demandas primárias para a Config.4 (qualidade).

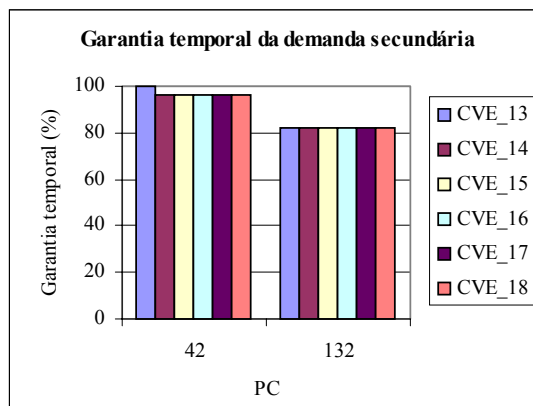


FIGURA 5.110. Garantia temporal das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade).

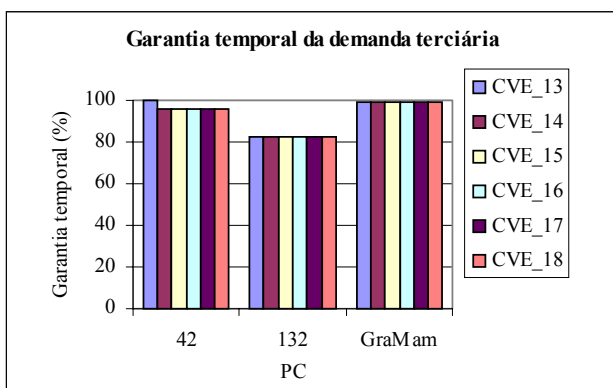


FIGURA 5.111. Garantia temporal das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade).

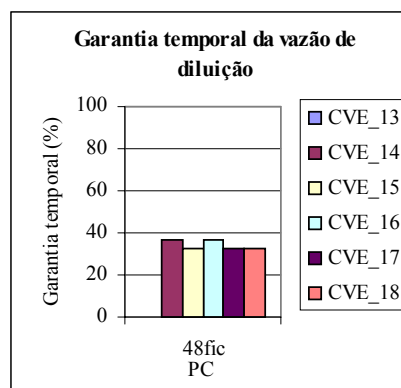


FIGURA 5.112. Garantia temporal das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade).

Garantia Crítica Temporal

As garantias críticas temporais para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.113 a 5.116.

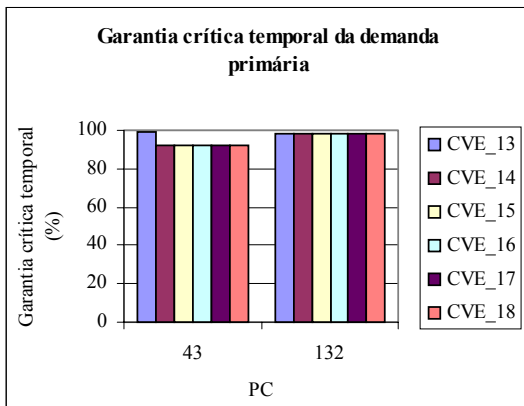


FIGURA 5.113. Garantia crítica temporal das demandas primárias para a Config.4 (qualidade).

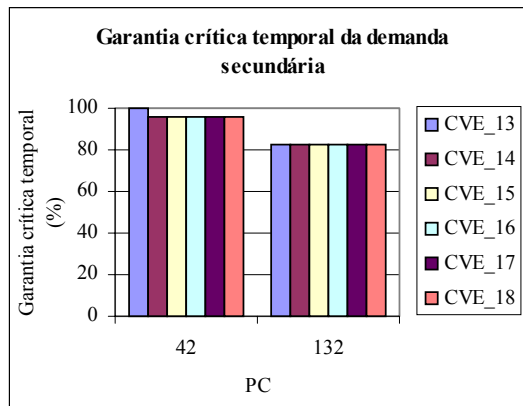


FIGURA 5.114. Garantia crítica temporal das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade).

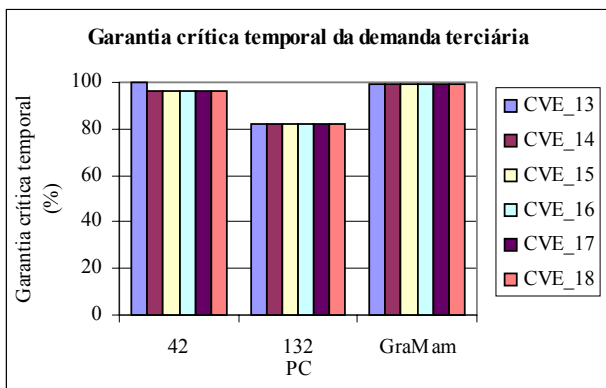


FIGURA 5.115. Garantia crítica temporal das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade).

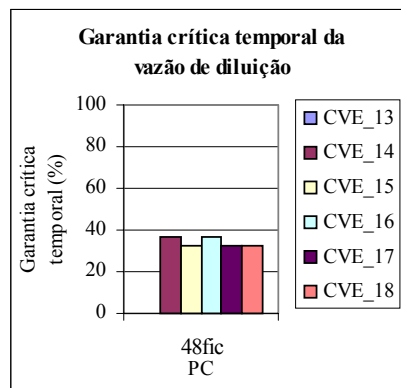


FIGURA 5.116. Garantia crítica temporal das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade).

Resiliência

As resiliências para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.117 a 5.120.

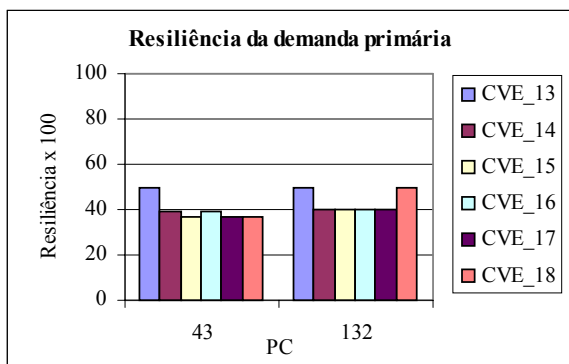


FIGURA 5.117. Resiliência das demandas primárias para a Config.4 (qualidade).

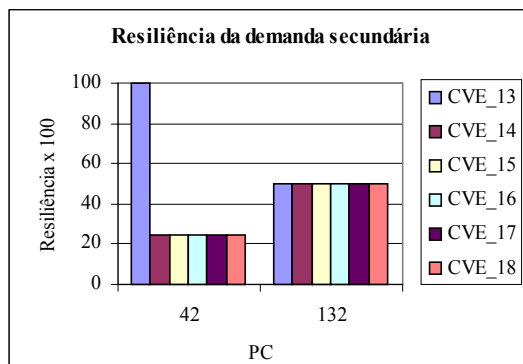


FIGURA 5.118. Resiliência das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade).

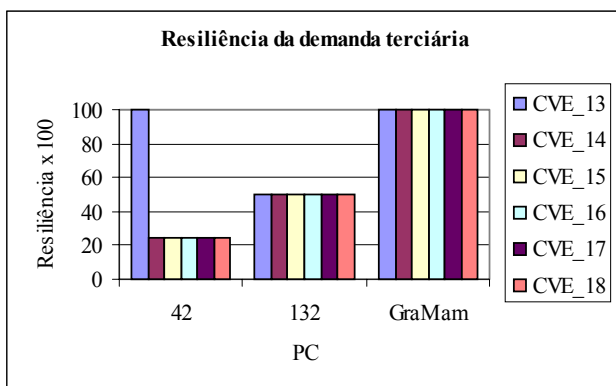


FIGURA 5.119. Resiliência das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade).

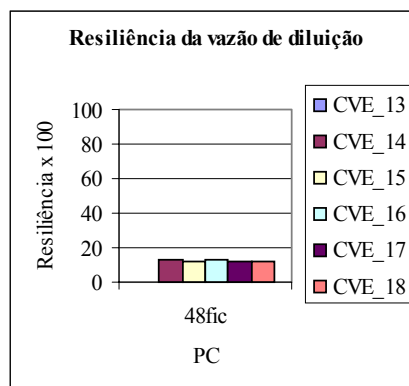


FIGURA 5.120. Resiliência das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade).

Garantia Volumétrica Mensal Mínima

Como o valor da garantia volumétrica mínima observada no mês, é nula para a vazão de diluição do PC 48fic, as Figuras 5.121, 5.122 e 5.123 mostram esse parâmetro apenas para as demandas primárias, secundárias e terciárias, respectivamente.

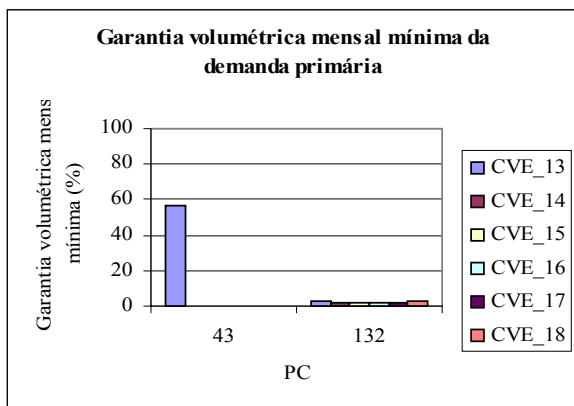


FIGURA 5.121. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas primárias para a Config.4 (qualidade).

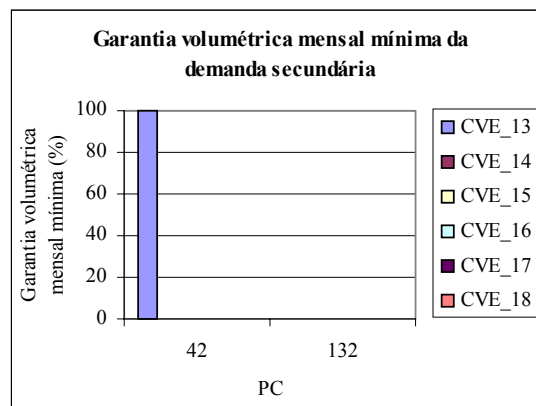


FIGURA 5.122. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade).

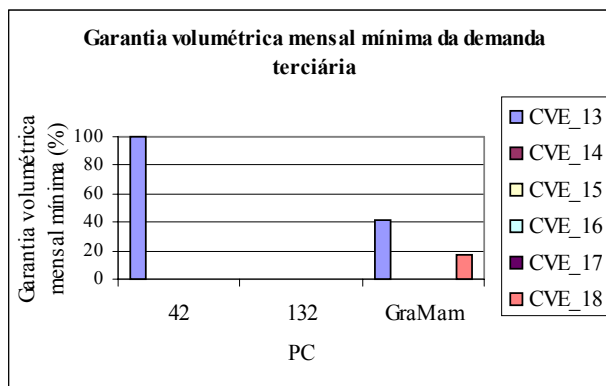


FIGURA 5.123. Garantia volumétrica mensal mínima das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade).

Vulnerabilidade

As vulnerabilidades percentuais para a Configuração 4 são mostradas nas Figuras 5.124 a 5.127.

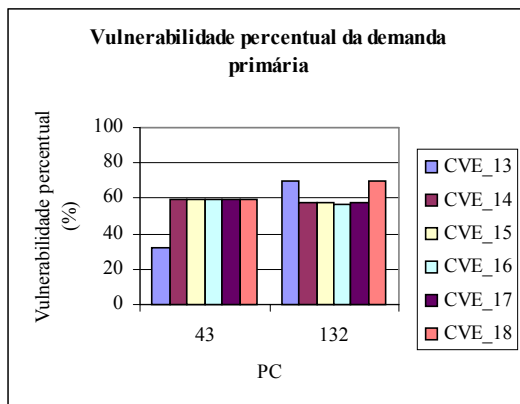


FIGURA 5.124. Vulnerabilidade percentual das demandas primárias para a Config.4 (qualidade).

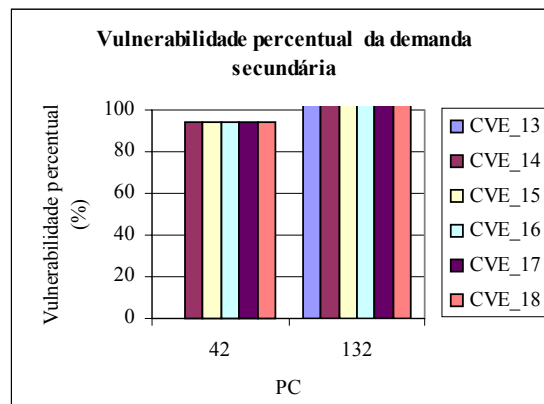


FIGURA 5.125. Vulnerabilidade percentual das demandas secundárias para a Config.4 (qualidade).

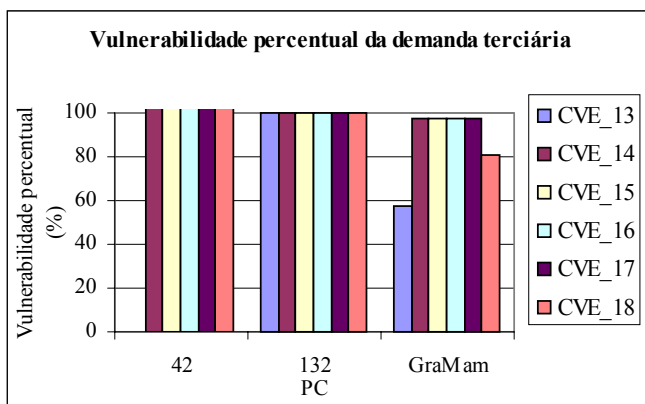


FIGURA 5.126. Vulnerabilidade percentual das demandas terciárias para a Config.4 (qualidade).

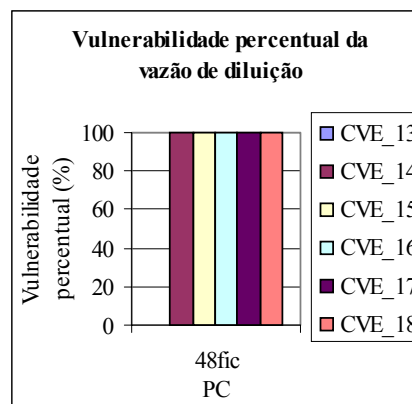


FIGURA 5.127. Vulnerabilidade percentual das vazões de diluição para a Config.4 (qualidade).

Análise Conjunta dos Parâmetros de Desempenho

Pelas figuras representativas dos parâmetros de desempenho para a Configuração 4, é possível observar que, de modo geral, o impacto da consideração da vazão de diluição como demanda tanto pela hipótese I (cenários CVE_14 e CVE_15) quanto pela II (cenários CVE_16 e CVE_17) se apresenta de forma similar nas demandas primárias, secundárias e terciárias, quando comparados ao cenário CVE_13 (sem vazão de diluição).

De acordo com as Figuras 5.105 a 5.116, relativas às garantias volumétrica, temporal e crítica temporal das demandas primárias, secundárias e terciárias, verifica-se que foi muito pequeno o impacto da consideração das demandas para diluição nas demandas dos PCs 42 e 43, e até mesmo nulo no caso das demandas referentes aos PCs 132 e GraMam.

Entretanto, quanto à resiliência (Figuras 5.117 a 5.119), à garantia volumétrica mensal mínima (Figuras 5.121 a 5.123) e à vulnerabilidade (Figuras 5.124 e 5.126) é possível reconhecer algumas alterações mais significativas. As demandas secundária e terciária do PC 42 sofrem grande queda da resiliência e a garantia mínima mensal que era de 100% passou para 0%. A influência da liberação de água do reservatório Mumbaba para o suprimento da vazão de diluição do PC 48fic também acarretou na redução da garantia volumétrica mensal mínima da demanda primária do PC 43 (Figura 5.121) para 0% e no aumento da vulnerabilidade percentual, o que é muito grave, uma vez que a primeira demanda se destina ao abastecimento urbano. Essas mesmas alterações foram observadas na demanda terciária do PC GraMam.

O suprimento da demanda para diluição dos despejos do PC 48fic também é pouco afetado pela consideração da concentração atual do rio, representada nos cenários CVE_15 e CVE_17. A vazão de diluição do citado PC é a mesma nas hipóteses I e II, por isso não foram verificadas mudanças no emprego de uma ou outra hipótese no cálculo da demanda para diluição. Porém, seus parâmetros de desempenho foram pouco satisfatórios.

As garantias volumétrica, temporal e crítica temporal apresentaram-se como aproximadamente 30%, de acordo com as Figuras 5.108, 5.112 e 5.116, respectivamente. Enquanto foi verificada uma capacidade de recuperação à ocorrência de falha muito baixa (Figura 5.120) e 100% de vulnerabilidade percentual (Figura 5.127).

Como no PC 48fic não foi considerado o processo de autodepuração (cenário CVE_18), não há modificações nos parâmetros de desempenho nos PCs 42, 43 e 48fic nesse cenário. Mas as demandas dos PCs 132 e GraMam, por se situarem a jusante do PC 347fic, podem sofrer alterações pela consideração da autodepuração.

No entanto, verificou-se que as vazões liberadas pelo processo provocam mudanças quase imperceptíveis com relação aos parâmetros do cenário CVE_17, no qual apenas são consideradas as demandas sem depuração. As pequenas modificações ocorridas são observadas apenas na resiliência (Figura 5.117), na garantia volumétrica mensal mínima (Figura 5.121) e na vulnerabilidade percentual (Figura 5.124) da demanda primária do PC 132, além da vulnerabilidade percentual da demanda terciária do PC GraMam (Figura 5.126).

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 INTRODUÇÃO

Neste estudo, foi empregado o instrumento de outorga de direitos de uso da água para a promoção da alocação eficiente dos recursos hídricos, a curto prazo, na bacia do rio Gramame, uma região propensa a conflitos de origem quantitativa e qualitativa. Dessa forma, pleiteou-se fornecer subsídios para a definição da política de outorga a ser implementada em bacias litorâneas do Nordeste brasileiro, contemplando aspectos quantitativos e qualitativos da água.

Para tanto, foram analisados dois dos principais problemas relacionados à implementação do processo de outorga, quais sejam a definição da vazão máxima outorgável (avaliação dos critérios de outorga) e a integração dos aspectos qualitativos da água.

Diante da fragilidade do cenário atual de infra-estrutura e regras operacionais da bacia em questão, os citados problemas associados à implementação do processo de outorga foram avaliados em quatro cenários passíveis de ocorrência, a curto prazo: demandas de 2005 com infra-estrutura atual; demandas de 2005 com infra-estrutura atual acrescida do reservatório Mumbaba; demandas de 2010 com infra-estrutura atual acrescida do reservatório Mumbaba; e, finalmente, demandas de 2010 com infra-estrutura atual acrescida do reservatório Mumbaba com modificações na demanda da Grande João Pessoa (GJP) e nível de racionamento de 50% da capacidade útil dos reservatórios.

Devido à ampla gama de informações referentes às análises efetuadas, a seguir são apresentadas em separado as conclusões e recomendações da avaliação dos critérios de outorga e da introdução da qualidade da água no processo de outorga na bacia do rio Gramame. Dessa forma, procura-se sistematizar o diagnóstico, no que diz respeito à consecução dos objetivos estabelecidos como base para o desenvolvimento desse estudo.

6.2 CONCLUSÕES

Antes de dispor as conclusões sobre a análise do processo de outorga, deve-se atentar para um fator importante que também foi definido como objetivo desse estudo: o estabelecimento de parâmetros de avaliação do desempenho de sistemas hídricos.

Com base nos parâmetros de desempenho de Hashimoto, foram instituídos para a avaliação dos diversos cenários os seguintes parâmetros:

- Garantia volumétrica: percentual do volume total requerido que é atendido;
- Garantia temporal: percentual do tempo no qual a demanda requerida é totalmente atendida;
- Garantia crítica temporal: percentual do tempo no qual a demanda é atendida num nível igual ou superior ao nível crítico de 90%;
- Resiliência: capacidade de recuperação à ocorrência de falha;
- Vulnerabilidade: severidade esperada das falhas ocorridas, isto é, volume médio da demanda que deixa de ser atendido na ocorrência de falhas;
- Garantia volumétrica mensal mínima do período simulado.

A concepção desses parâmetros, fundamentando-se não apenas nas falhas ocorridas (garantia temporal, garantia volumétrica e garantia volumétrica mensal mínima), mas considerando também as falhas críticas (garantia crítica temporal), a severidade das falhas (vulnerabilidade) e a capacidade de recuperação à ocorrência das mesmas (resiliência), permitiu captar aspectos essenciais do sistema hídrico analisado. E, embora sendo capaz de captar tais aspectos, verificou-se que, para a obtenção desses índices de desempenho, apenas foi necessário dispor de informações sobre a demanda requerida e a demanda atendida, a cada intervalo de tempo. Isso demonstra a facilidade de aplicação da metodologia desenvolvida, tornando-a uma poderosa ferramenta para a análise de sistemas hídricos.

Contudo, o maior número de parâmetros a serem considerados gerou um grande volume de resultados para a comparação entre os cenários simulados. Então, para possibilitar tal análise comparativa, tornou-se necessário ordenar os cenários de melhor desempenho, por parâmetro e prioridade de uso.

6.2.1 Critérios de Determinação da Vazão Máxima Outorgável

Com vistas a avaliar o impacto da implementação do processo de outorga nas demandas existentes na bacia do rio Gramame, considerando o Decreto Estadual nº. 19.260/97, que regulamenta a outorga no Estado da Paraíba, e os condicionantes da bacia, foram definidos como critérios de outorga de possível uso:

- Critério da vazão de referência com 1 valor de Q_{90} : o valor de referência é único para cada PC (critério adotado pelo citado decreto);

- Critério da vazão de referência com 2 valores de Q_{90} : o valor de referência é duplo – um para a estação seca (de setembro a fevereiro) e outro para a estação úmida (de março a agosto);
- Critério da vazão de referência com valores de Q_{90} mensais: São 12 os valores de vazão de referência, um para cada mês do ano;
- Critério da vazão excedente: a vazão natural no curso d'água é a vazão máxima outorgável;
- Critério da garantia de suprimento: as vazões outorgadas às demandas para abastecimento urbano, irrigação prioritária (e agroindústria GIASA) e irrigação não prioritária são, respectivamente, correspondentes às garantias temporais de 95%, 90% e 85%.

Tendo por base os parâmetros de desempenho obtidos pelo emprego desses critérios nos cenários simulados, pode-se concluir que, de modo geral, quanto mais próximo a vazão máxima outorgável acompanhou a variabilidade hidrológica da bacia, menores foram as reduções que sua implementação ocasionou no suprimento das demandas já estabelecidas na região (priorizando a demanda para abastecimento humano).

Assim, em ordem crescente de impactos negativos nas demandas existentes na bacia, os seguintes critérios de determinação da vazão máxima outorgável podem ser ordenados como: (1) vazão excedente; (2) vazões de referência mensais; (3) vazões de referência das estações seca e chuvosa; (4) vazão de referência única; e (5) garantia de suprimento. Isso mostra a necessidade de revisão do critério de outorga da vazão de referência Q_{90} única, adotado pelo Decreto Estadual nº 19.260/97, que regulamenta a outorga no Estado da Paraíba.

Observou-se que a metodologia desenvolvida para emprego e análise dos critérios de outorga acima é de fácil compreensão e aplicação. Verificou-se também que o critério proposto de dois valores de vazão de referência atendeu às expectativas de garantir um melhor suprimento das demandas, sem tornar demasiadamente complexa a implementação e fiscalização, quando comparado ao critério da vazão de referência única.

Limitações

Quanto à aplicabilidade dos critérios de outorga propostos para bacias litorâneas do Nordeste brasileiro, a principal limitação da metodologia desenvolvida é na utilização do critério de vazões de referência Q_{90} para as estações seca e chuvosa. Para o emprego desse critério, a região em estudo deve possuir estações seca e chuvosa bem definidas. Assim, é

necessário verificar se isso é observado na bacia em questão, anteriormente ao seu estabelecimento como critério de outorga.

No sentido de preencher as lacunas existentes para o desenvolvimento pleno desse estudo na bacia do rio Gramame, é importante fornecer também as limitações impostas aos resultados obtidos, para que futuros trabalhos sejam providos de maior precisão nas informações utilizadas.

Dentre as limitações das informações disponíveis, podem-se citar:

- As séries fluviométricas utilizadas nas simulações eram mensais e foram geradas por um modelo chuva-vazão, tendo como dados de calibração apenas as vazões de dois postos fluviométricos que trazem embutidos os usos da água na bacia e não contemplam importantes cursos d'água da bacia;
- A extensão de apenas 17 anos das séries pluviométricas e fluviométricas pode não ser representativa, principalmente devido ao fato do período de 1972 a 1988 não englobar a grave seca ocorrida entre os anos de 1997 e 1999;
- A desconsideração das reservas subterrâneas, devido à ausência de informações.

6.2.2 Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga

A metodologia desenvolvida para a introdução da qualidade da água no processo de outorga procurou focar os seguintes aspectos: (i) a demanda para diluição de despejos, computando a vazão de lançamento e avaliando sua sensibilidade à consideração da concentração de poluentes do próprio curso d'água; (ii) o processo de depuração dos poluentes nos rios, de forma simplificada; e (iii) o impacto da vazão de diluição de despejos e do processo de depuração simplificado nas demandas instaladas na bacia.

O procedimento proposto para a consideração da vazão de lançamento no cálculo da vazão de diluição se mostrou de fácil compreensão e implementação, uma vez que na maioria das estações de monitoramento da qualidade da água são efetuadas medições da concentração de poluente e de sua respectiva vazão de lançamento, dados necessários ao procedimento.

No tocante à concentração de poluentes do curso d'água, a proposta de representá-la como uma demanda de diluição de prioridade superior à dos poluentes lançados impediu, de uma forma simples e fácil, o lançamento de efluentes nos corpos hídricos além da sua real capacidade de assimilação. Uma das principais vantagens dessa proposta é o fato de não necessitar de auxílio de modelos de qualidade da água.

Quanto à metodologia concebida para o processo de depuração, a utilização de coeficientes de depuração obtidos dos perfis de DBO dos cursos d'água, também dispensando

o uso de modelos de qualidade da água, facilitou a implementação da autodepuração no procedimento de outorga. Embora tenha sido uma aproximação do real processo de depuração, permitiu a liberação da água utilizada pela vazão de diluição, e depurada, para outros usuários de jusante, através de fatores fixos estabelecidos previamente.

Efetuada a avaliação da metodologia desenvolvida, a análise que se segue é referente a sua aplicação na bacia do rio Gramame.

Com base nos parâmetros de desempenho obtidos para os cenários simulados da bacia do rio Gramame, foi possível inferir que as demandas para diluição de despejos afetaram de forma pouco significativa o suprimento das demandas existentes, à exceção dos pontos de controle (PCs) submetidos à operação do reservatório Mumbaba. Esses PCs afetados pela demanda tiveram, em média, uma redução de 20% a 30% de suas garantias.

Esse agravamento do atendimento das demandas dos referidos PCs foi reflexo da liberação da água do reservatório Mumbaba para o suprimento da alta demanda de diluição do Distrito Industrial de João Pessoa, reduzindo os volumes acumulados nesses meses e indisponibilizando-os para uso nos meses subseqüentes.

As vazões liberadas para novos usos pela consideração do processo simplificado de autodepuração, através de coeficientes pré-estabelecidos, não foram significativas a ponto de melhorar o atendimento das demandas dos PCs à jusante dos lançamentos.

Quanto à concentração prévia de poluentes dos cursos d'água onde são lançados despejos (ou seja, a situação de qualidade com que a água chega ao PC), sua consideração pouco afetou o suprimento das demandas para diluição. Entretanto, exceto a demanda do Conde, os valores dos parâmetros de desempenho se apresentaram bastante insatisfatórios para essas vazões de diluição, mostrando a inviabilidade de seu suprimento pelas reservas hídricas da bacia.

Limitações

A metodologia proposta nesse estudo para a introdução da qualidade da água no processo de outorga possui algumas limitações inerentes às simplificações adotadas, quais sejam:

- O procedimento simplificado da vazão de diluição não permite a distinção na ocorrência de escassez quantitativa e qualitativa;
- A utilização do parâmetro DBO para representar a qualidade das águas ignora importantes características das mesmas para o consumo humano, como os aspectos bacteriológico e físico, que apenas seriam considerados com a

introdução de outros indicadores da qualidade da água, como os coliformes fecais e a turbidez, respectivamente;

- A representação do processo de depuração pelo procedimento simplificado dos coeficientes de depuração é facilmente aplicável, quando o parâmetro de qualidade em questão é a DBO, mas pode não ser para parâmetros cuja taxa de decaimento não obedeça a uma regra bem definida, tornando necessária a análise de cada caso;
- O procedimento de depuração adotado também requer que estejam disponíveis os perfis de DBO dos cursos d'água, o que nem sempre ocorre;
- A adoção do coeficiente de depuração fixo pressupõe constante o tempo de percurso da água entre os trechos quando, na verdade, esse tempo é dependente da vazão e da área molhada, variando a cada intervalo de tempo;
- Como na bacia em estudo os lançamentos dos poluentes se deram em trechos independentes, as simplificações adotadas foram facilmente empregadas. Entretanto, caso isso não ocorra, é necessário verificar se é possível o emprego de tais simplificações.

Além das limitações citadas acima e das mostradas no item 6.2.1, aqui devem ser introduzidas também as restrições oriundas da aplicação da metodologia desenvolvida na bacia do rio Gramame. Essas limitações são:

- As concentrações de DBO necessárias ao estabelecimento das demandas para diluição requisitadas pelo próprio curso d'água foram registradas em anos não coincidentes com o período de simulação;
- As concentrações de DBO empregadas (quando existentes) foram oriundas de estações de amostragem de qualidade da água não correspondentes aos locais nos quais foram consideradas, além de possuírem dados escassos de DBO e sem o registro de vazão correspondente;
- As vazões de diluição dos despejos domésticos e industriais mantiveram-se constantes em todo o período simulado e foram baseadas em estimativas;
- Embora a bacia do rio Gramame tenha a irrigação como base econômica, não foram computados os agrotóxicos e fertilizantes como poluentes, devido à ausência de dados disponíveis.

6.3 RECOMENDAÇÕES

6.3.1 Critérios de Determinação da Vazão Máxima

Embora os critérios de outorga sigam a ordem descrita no item 6.2.1 no sentido de fornecer aos usuários da bacia subsídios para um melhor desempenho, para o órgão responsável pela outorga, a ordem indicada é decrescente do ponto de vista de facilidade de operacionalização e fiscalização. Assim, é aconselhável que, ao menos inicialmente, as vazões máximas outorgáveis pelo órgão gestor sejam valores fixos, como a vazão de referência única. Conforme o grau de melhoria no setor de monitoramento e no Sistema de Informações de Recursos Hídricos, ia-se empregado os critérios de 2 e 12 vazões de referência, até que, finalmente, fosse possível a adoção do critério da vazão excedente, com as necessárias simulações em tempo real.

Vale salientar ainda que, mesmo colocando à disposição dos usuários de água da bacia do rio Gramame um maior volume de água quando comparado aos demais critérios, o critério da vazão excedente não é capaz de garantir o atendimento nem de 70% do volume total requerido por algumas demandas. Além disso, para a maioria dos usuários de água da bacia, há meses nos quais não é atendido nenhum volume da demanda requerida.

Conquanto a utilização do critério da garantia de suprimento tenha resultado nos piores parâmetros de desempenho, apenas se deve afirmar que esse foi o critério que causou maior impacto nas demandas instaladas na bacia do rio Gramame. Porém, como as vazões por ele outorgadas são estabelecidas com base em garantias pré-fixadas, numa bacia ainda não explorada, cujos usuários somente se estabelecerão caso a outorga lhe tenha sido concedida, esse parece ser o critério mais indicado. Além do mais, esse critério apresenta a facilidade de adotar valores únicos a serem outorgados todo o tempo, embora possa apresentar variabilidade mensal.

Tudo isso mostra o quão aquém dos seus usos está a disponibilidade de água na bacia do rio Gramame. Dessa forma, é evidente a necessidade de intervenção do poder público para a concessão de outorgas como forma de controlar ou, ao menos, minimizar os conflitos de uso da água na região.

No caso da implementação do processo de outorga na bacia do rio Gramame, devido à escassez de dados fluviométricos e à falta de controle, por parte do órgão gestor da bacia, dos usuários existentes na mesma, são fundamentais:

- O estabelecimento de postos fluviométricos com densidade suficiente para prover uma bacia tão importante de séries de vazão consistentes, bem como para suprir o Sistema de Informações de Recursos Hídricos da bacia;
- A instalação de um sistema de monitoramento e fiscalização capaz de avaliar se o uso da água está sendo executado em consonância com a outorga concedida e também para abastecer o Sistema de Informações de recursos hídricos, de forma contínua, atualizada e eficiente, sobre as disponibilidades e as demandas de todos os usuários;
- No caso de critério da vazão excedente, esse Sistema de Informações é imprescindível para a simulação em tempo real, necessária para informar sobre os usos que terão suas demandas reduzidas no referido intervalo de tempo;
- A consideração das reservas hídricas subterrâneas, que poderão complementar ou substituir com vantagens as disponibilidades superficiais.

6.3.2 Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga

No tocante à vazão de diluição propriamente dita, vale salientar que, conforme dito anteriormente, essa metodologia facilita o processo de fiscalização e entendimento, mas não é eficaz na distinção entre a escassez quantitativa e qualitativa. Assim, quando houver uma rede de amostragem de qualidade da água capaz de suprir modelos matemáticos de qualidade da água em conjunto com a quantidade, estes devem substituir o procedimento da vazão de diluição no processo de outorga. Isso também permitiria a consideração de outros parâmetros de qualidade da água, importantes para o consumo humano e animal.

É interessante ressaltar ainda que toda a análise da introdução da qualidade da água no processo de outorga partiu do pressuposto da adoção do critério da vazão excedente na determinação da vazão máxima outorgável. Assim, por esse critério permitir uma maior utilização de água na bacia, a adoção de um critério de outorga distinto implicaria numa situação ainda mais crítica de suprimento da vazão de diluição.

Conforme dito no item 6.2.2, a consideração da vazão de diluição como demanda no processo de outorga da bacia do rio Gramame embora, de modo geral, não tenha acarretado em grandes alterações do atendimento das demandas já existentes na bacia, teve graves conseqüências no atendimento dos usuários dependentes do reservatório Mumbaba, quando este foi considerado. Para minimizar esse impacto, o órgão gestor da bacia poderia implementar o nível de racionamento de 50% utilizado nesse estudo, a partir do qual apenas as demandas para abastecimento urbano eram supridas. Conforme se verificou, os impactos

no suprimento das demandas existentes foi menor nesse cenário do que no cenário no qual não foi empregado nenhum zoneamento.

Pelo fato do processo de depuração ser bastante lento e dos poluentes existentes nos cursos d'água serem pouco expressivos, recomenda-se ao órgão responsável pela concessão de outorgas na bacia a desconsideração da autodepuração da DBO nos cursos d'água da bacia, bem como dos poluentes advindos do próprio rio. Dessa forma, a implementação das demandas para diluição no processo de outorga da bacia se torna bem menos complexa.

Como foi verificado no suprimento das vazões de diluição dos efluentes de Pedras de Fogo e do Distrito Industrial de João Pessoa, não há vazão disponível para diluir integralmente os efluentes lançados, conquanto esses poluentes sejam lançados nesses cursos d'água atualmente. Dessa forma, é urgente o emprego de medidas para que sejam atendidos os padrões de qualidade estipulados pelo enquadramento. Algumas das medidas que podem ser adotadas, isoladas ou em conjunto, são (Ribeiro, 2000): modificação do processo produtivo com vistas a gerar menos efluentes e o tratamento dos efluentes.

Para a consideração da qualidade da água no processo de outorga da bacia do rio Gramame é essencial uma base de dados confiável, sendo necessário para tanto, além das recomendações do item anterior:

- O aumento da densidade de estações de amostragem da qualidade da água, efetuando medidas simultâneas de qualidade e quantidade;
- A quantificação dos poluentes provenientes dos agrotóxicos e fertilizantes utilizados na irrigação;
- A fiscalização e o monitoramento, nesse caso, devem ser bastante rigorosos com relação aos lançamentos de despejos, uma vez que, mesmo quando faltar água, é sempre possível a esses usuários continuar lançando poluentes nos cursos d'água.

REFEFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREAZZA, A. M. P.; BINOTTO, R. B.; MARQUES, D. M. L. da M.; e SCHWARZBOLD, A. 1994. **Qualidade da Água na Gestão Ambiental Brasileira**. In: Seminário de Qualidade de Águas Continentais no MERCOSUL, 1., 1994, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ABRH. p.189-227.
- AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; e PORTO, Mônica. 1998. **Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da Água: metodologia e estudo de caso**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.3, n.1, p.21-51, jan./mar.
- AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; e ZAHED FILHO; K. 1997. **Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo**. In: PORTO, Rubem La Laina (Org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Ed. da Universidade UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Cap.4, p. 165-227.
- BANCO MUNDIAL. 2002. **Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.br/index.php?action=/content/view_document&cod_object=334>. Acesso em 27/06/2002.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2001. **Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001**. Brasília.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. **Resolução nº 20, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília.
- BRASIL. 1997. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Política e Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Brasília.
- BRASIL. 1999. **Projeto de Lei nº 1.616/99**. Dispõe sobre a gestão administrativa e a organização institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos previsto no inciso XIX do art. 21 da Constituição, e criado pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e dá outras providências. Brasília.
- CAMARA, Ana Carolina F. C.; e LANNA, Antonio E. L. 2002. **Proposta para Análise da Vazão Máxima Outorgável e da Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga da Bacia do Rio Gramame**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6., 2002, Maceió. Anais. Maceió: ABRH. 1 CD-ROM.

- CAMPOS, José Nilson B.; e VIEIRA, Vicente de P. P. B. 1993. **Gerenciamento dos Recursos Hídricos: A Problemática do Nordeste**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v.27, n.2, p. 83-91. abr./jun.
- CAMPOS, José Nilson B.; VIEIRA NETO, J. F.; & MARTINS, E. S. 1997. **Vulnerabilidade de Sistemas Hídricos: Um Estudo de Caso**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 45-47, jan./jun.
- CAMPOS, J. D.; et al. 2002. **Proposta de uma Metodologia para a Fase Inicial de Cobrança do Paraíba do Sul**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 2., 2002, Campo Grande. Anais. Campo Grande: ABRH. 1 CD-ROM.
- CONEJO, João Gilberto Lotufo. 1993. **A Outorga de Usos da Água como Instrumento de Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v.27, n.2., p.28-62, abr./jun.
- DUTRA NETO, C.; e SANTOS, P. R. P. 2002. **Gestão de Recursos Hídricos**. Brasília: UnB/Centro de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://www.uesb.br/fito/Texto/hidrico.htm>>. Acesso em 13/03/2002.
- GAZETA MERCANTIL. 1999. **Outorga de Direitos de Uso da Água**. Gazeta Mercantil, Caderno Planalto Paulista – 30/03/99, Texto retirado do Boletim Informativo LOOP nº 1. Disponível em: <<http://www.guiamercadodeaguas.com.br/informat.htm>>. Acesso em 13/03/02.
- GIASA. 2000. **Barragem do Riacho Pitanga: estudos hidrológicos**. João Pessoa: SCIENTEC – Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia.
- HASHIMOTO, T. 1982. **Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation**. Water Resources Research, Washington, v. 18, n. 1, p. 14-20.
- KELMAN, Jerson. 1997. **Gerenciamento de Recursos Hídricos Parte I: Outorga**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12., 1997, Vitória. Anais. São Paulo: ABRH. v.1, p. 123-128.
- LANNA, Antonio Eduardo L. 1997a. **Introdução**. In: PORTO, Rubem La Laina (Org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Ed. da Universidade UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Cap.1, p. 15-41.
- LANNA, Antonio Eduardo L. 1997b. **Regularização de vazões em Reservatórios**. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2.ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Cap.18, p. 703-725.

- LANNA, Antonio Eduardo L. 1999. **Texto de Referência da Disciplina Gestão dos Recursos Hídricos: HIDP-78**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS.
- LANNA, Antonio Eduardo L. 2000. **Sistemas de Gestão de Recursos Hídricos: Análise de Alguns Arranjos Institucionais**. Revista Ciência & Ambiente, Santa Maria, n.21, p. 21-56, jul./dez.
- LANNA, Antonio Eduardo L. 2001. **Texto de Referência da Disciplina Economia dos Recursos Hídricos: HIDP-04**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS.
- LEAL, Márcia Souza. 1997. **Gestão Ambiental de Recursos Hídricos por Bacias Hidrográficas: Sugestões para o Modelo Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- LIMA, Henrique V. C.; e LANNA, A. E. L. [não publicado]. **Modelos para Operação de Sistemas de Reservatórios: Atualização do Estado da Arte**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.
- MEDEIROS, Marcelo J.; e NAGHETTINI, Mauro. 2001. **Análise de Viabilidade de Aplicação de um Fator de Correção Anual para o Critério de Vazão de Outorga adotado no Estado de Minas Gerais**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14., 2001, Aracaju. Anais. Porto Alegre: ABRH. 1 CD-ROM.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 13/03/02.
- MOREIRA, Rodrigo de Matos. 2001. **Alocação de Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PAIVA, Ana Emília D. B. 2001. **Simulações Hidrológicas na Bacia do Rio Gramame como Subsídio ao Processo de Outorga**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- PAIVA, Ana Emília D. B. 2002. **Sistema de Análise Qualitativa das Águas Superficiais do Estado da Paraíba**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6., 2002, Maceió. Anais. Maceió: ABRH. 1 CD-ROM.

- PAIVA, Ana Emília D. B.; e RIBEIRO, Márcia. M. R. 2000. **Outorga de Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Gramame – PB**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 5., 2000, Natal. Anais. Natal: ABRH. v.1, p. 371-377.
- PARAÍBA. 1996. **Lei nº 6.308, de 2 de julho de 1996**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. João Pessoa.
- PARAÍBA. 1997a. **Decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997**. Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e dá outras providências. João Pessoa.
- PARAÍBA. 1997b. **Lei nº 6.544, de 20 de outubro de 1997**. Cria a Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais; dá nova redação e revoga dispositivos da Lei nº 6.308, de 2 de julho de 1996, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências. João Pessoa.
- PARAÍBA. 2001. **Lei nº 7.033, de 29 de novembro de 2001**. Cria a Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba – AAGISA, e dá outras providências. João Pessoa.
- PARAÍBA. Secretaria de Energia e Recursos Minerais. Conselho de Proteção Ambiental. 1988a. **Diretriz 201 – Classificação das Águas Interiores do Estado**. João Pessoa.
- PARAÍBA. Secretaria de Energia e Recursos Minerais. Conselho de Proteção Ambiental. 1988b. **Diretriz 202 – Divisão do Estado da Paraíba em Bacias Hidrográficas**. João Pessoa.
- PARAÍBA. Secretaria de Energia e Recursos Minerais. Conselho de Proteção Ambiental. 1988c. **Diretriz 208 – Enquadramento dos Corpos D’água da Bacia Hidrográfica do Litoral e Zona da Mata**. João Pessoa.
- PEREIRA, Jaildo S. 1996. **Análise de Critérios de Outorga e de Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio dos Sinos, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PIRES, Cezar L. F. 1996. **A Outorga de Uso na Gestão de Recursos Hídricos**. In: Seminário de Recursos Hídricos do Nordeste, 3., 1996, Salvador. Anais. Salvador: ABRH. p. 319-325.
- POMPEU, Cid Tomanik. 1993. **Aspectos Legais do Gerenciamento dos Recursos Hídricos: Bases Legais para a Outorga do Uso da Água**. In: Encontro sobre Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Centro Oeste / Tocantins, 1., 1993, Goiânia. Anais. Goiânia: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional.

- PORTO, Mônica F. A. 1991. **Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição**. In: PORTO, Rubem La Laina (Org.). Hidrologia Ambiental. São Paulo: Edusp: ABRH. p. 375-390.
- RIBEIRO, Márcia M. R. 2000. **Alternativa para a Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RIBEIRO, M. M. R.; e LANNA, Antonio E. L. 2001. **Instrumentos Regulatórios e Econômicos – Aplicabilidade à Gestão das Águas e à Bacia do Rio Pirapama, PE**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.6, n.4, p. 41-70, out./dez.
- SCHVARTZMAN, A. S.; e DINIZ, M. G. M. 2001. **Outorga de Uso das Águas no Estado de Minas Gerais: Avaliação Preliminar e Pesquisa de Índices**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14., 2001, Aracaju. Anais. Porto Alegre: ABRH. 1 CD-ROM.
- SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. 2000. **Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame..** João Pessoa: Convênio SEMARH/SCIENTEC, v. 1, 2, 3 e anexos.
- SILVA, Luciano M. C. da. 1997. **Análise de Critérios de Outorga dos Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Branco – BA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SILVA, Simone R. da; FREIRE, Paula K. C.; e BARBOSA, Dayse L. 2002. **A Outorga de Direito de Uso da Água no Nordeste do Brasil**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6., 2002, Maceió. Anais. Maceió: ABRH. 1 CD-ROM.
- SOUZA FILHO, Francisco de A.; e CAMPOS, José Nilson B. 1996. **A Outorga como Instrumento de Gestão: Estudo de Caso**. In: Seminário de Recursos Hídricos do Nordeste, 3., 1996, Salvador. Anais. Salvador: ABRH. p. 327-333.
- SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente. 2002. **Programa: Monitoramento de Corpos D'água Interiores**. João Pessoa.
- TRÖGER, Flávio Hadler. 2002. **Instrumentalização do PROPAGAR MOO com Ferramentas de Planejamento do Uso da Água e de Análise da Simulação através da Utilização da Linguagem Pascal Script**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- TUCCI, Carlos E. M. 1998. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- TUNDISI, José Galizia. 2000. **Limnologia e Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos: Avanços Conceituais e Metodológicos**. Revista Ciência & Ambiente, Santa Maria, n.21, p. 9-20, jul./dez.
- VIEGAS FILHO, João Soares. 2000. **O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicado a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- VIEIRA, Vicente P. P. B; e VIEIRA, Luiz A. de Almeida. 1995. **Recursos Hídricos e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Nordeste**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 11., 1995, Recife. Anais. Recife: ABRH. v.2, p. 17-23.
- VON SPERLING, Marcos. 1996. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de esgotos**. 2. ed. rev. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. v. 1.
- WURBS, Ralph A. 1995. **Water Rights in Texas**. Journal of Water Resources Planning and Management, New York, v. 121, n. 6, p. 447-454, nov./dec.
- WURBS, Ralph A.; and DUNN, D. D. 1996. **Water Rights Analysis Package (WRAP): Model Description and Users Manual**. College Station: Texas Water Resources Institute. (Technical report, 146).
- WURBS, Ralph A.; and WALLS, W. Brian. 1989. **Water Rights Modeling and Analysis**. Journal of Water Resources Planning and Management, New York, v. 155, n. 4, p. 416-430, July.
- YASSUDA, Eduardo Riomey. 1993. **Gestão de Recursos Hídricos: Fundamentos e Aspectos Institucionais**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v.27, n.2, p. 5-18. abr./jun.

ANEXO 1

INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DO RIO GRAMAME

A.1.1 Açude Gramame-Mamuaba

Características do sistema Gramame-Mamuaba.

Características	Unidade	Valor
<i>Capacidade de acumulação</i>	m ³	56.937.000,0
<i>Volume de porão</i>	m ³	399.744,0
<i>Área inundada</i>	ha	940
<i>Cota da soleira do vertedor</i>	m	35
<i>Cota do volume do porão</i>	m	20,24
<i>Cota mínima</i>	m	17,00

FONTE: SEMARH (2000).

Cota x Área x Volume do sistema Gramame-Mamuaba.

Cota (m)	Área inundada (m²)	Volume Acumulado (m³)
17,00	0,00	0,00
18,00	4.000,00	2.000,00
19,00	90.298,53	85.000,00
20,00	306.693,12	299.000,00
21,00	501.184,38	722.000,00
22,00	917.083,06	1.442.000,00
23,00	1.282.838,41	2.537.000,00
24,00	1.834.940,40	4.048.000,00
25,00	2.354.544,33	6.122.000,00
26,00	2.677.196,83	8.945.000,00
27,00	3.142.410,55	11.964.000,00
28,00	3.738.567,81	15.454.000,00
29,00	4.274.800,46	19.721.000,00
30,00	4.939.971,91	23.305.000,00
31,00	5.543.434,34	28.646.000,00
32,00	6.274.232,12	34.651.000,00
33,00	6.941.868,43	41.248.000,00
34,00	7.735.515,26	48.492.000,00
35,00	8.464.784,93	56.937.000,00
36,00	9.318.943,71	65.885.000,00
37,00	10.107.686,00	75.764.000,00
38,00	11.020.350,17	86.525.000,00
39,00	11.866.694,37	98.202.000,00
40,00	12.836.113,67	110.853.000,00

FONTE: SEMARH (2000).

A.1.2 Açude Pitanga

Características do açude Pitanga.

Características	Unidade	Valor
<i>Capacidade de acumulação</i>	m ³	2.390.000
<i>Área inundada</i>	ha	36
<i>Altura máxima</i>	m	20,34
<i>Extensão do coroamento</i>	m	205,0
<i>Largura do coroamento</i>	m	7,00
<i>Cota do coroamento</i>	m	92,00
<i>Cota da soleira do vertedor</i>	m	90,00
<i>Cota do volume do porão</i>	m	76,00
<i>Cota mínima</i>	m	74,00

FONTE: GIASA (2000).

Cota x Área x Volume do açude Pitanga.

Cota (m)	Área inundada (ha)	Volume Acumulado (x 1000 m³)
74	0,00	0
75	2,00	10
76	3,00	30
77	4,00	60
78	5,00	100
79	7,00	160
80	9,00	240
81	11,00	340
82	13,00	460
83	16,00	610
84	19,00	780
85	21,00	980
86	24,00	1.200
87	27,00	1.450
88	30,00	1.740
89	33,00	2.050
90	36,00	2.390

FONTE: GIASA (2000).

A.1.3 Açude Mumbaba

Características do açude planejado Mumbaba.

Características	Unidade	Valor
<i>Capacidade de acumulação</i>	m ³	41.090.000,0
<i>Volume de porão</i>	m ³	561.500,0
<i>Área inundada</i>	ha	516
<i>Profundidade máxima</i>	m	20,5
<i>Altura máxima</i>	m	25,5
<i>Extensão do coroamento</i>	m	640,0
<i>Cota da crista</i>	m	35,5
<i>Cota da soleira do vertedor</i>	m	30,5
<i>Cota do volume do porão</i>	m	14,00
<i>Cota mínima</i>	m	10,00

FONTE: SEMARH (2000).

Cota x Área x Volume do açude Mumbaba.

Cota (m)	Profundidade (m)	Área inundada (ha)	Volume Acumulado (m³)
10	0	0,0	0,00
11	1	3,5	17.500,00
12	2	11,4	92.000,00
13	3	22,7	262.500,00
14	4	37,1	561.500,00
15	5	54,2	1.018.000,00
16	6	73,8	1.658.000,00
17	7	96,0	2.507.000,00
18	8	120,4	3.589.000,00
19	9	147,1	4.926.500,00
20	10	176,0	5.775.000,00
21	11	203,6	7.653.000,00
22	12	231,2	9.827.000,00
23	13	258,7	12.276.500,00
24	14	286,3	15.001.500,00
25	15	313,9	18.022.500,00
26	16	352,2	21.353.000,00
27	17	390,6	25.067.000,00
28	18	428,9	29.164.500,00
29	19	467,3	33.645.500,00
030	20	505,6	38.510.000,00
31	21	526,3	43.669.500,00
32	22	547,0	49.036.000,00
33	23	567,7	54.609.500,00
34	24	588,4	60.390.000,00
35	25	609,1	66.377.500,00

FONTE: SEMARH (2000).

ANEXO 2

INDICADORES DA CALIBRAÇÃO E DA VALIDAÇÃO DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO GRAMAME

A.2.1 Posto Fluviométrico Mumbaba

Indicadores da calibração do posto fluviométrico Mumbaba.

Indicador	Vazões Calculadas pelo modelo AÇUMOD	Vazões Observadas
<i>Média</i>	2,20	2,59
<i>Desvio padrão</i>	1,40	1,72
<i>Máximo</i>	6,42	8,41
<i>Mínimo</i>	0,99	0,93
<i>Rendimento</i>	0,27	0,33
<i>Erro médio quadrático</i>		0,14
<i>Correlação</i>		0,91
<i>Valor médio dos resíduos</i>		-0,39

FONTE: SEMARH (2000).

Indicadores da validação do posto fluviométrico Mumbaba.

Indicador	Vazões Calculadas pelo modelo AÇUMOD	Vazões Observadas
<i>Média</i>	1,64	1,94
<i>Desvio padrão</i>	0,82	1,01
<i>Máximo</i>	3,89	6,26
<i>Mínimo</i>	0,80	0,80
<i>Rendimento</i>	0,23	0,27
<i>Erro médio quadrático</i>		0,13
<i>Correlação</i>		0,69
<i>Valor médio dos resíduos</i>		-0,30

FONTE: SEMARH (2000).

A.2.2 Posto Fluviométrico Mamuaba

Indicadores da calibração do posto fluviométrico Mamuaba.

Indicador	Vazões Calculadas pelo modelo AÇUMOD	Vazões Observadas
<i>Média</i>	2,05	2,04
<i>Desvio padrão</i>	1,47	1,29
<i>Máximo</i>	7,14	6,33
<i>Mínimo</i>	0,68	0,85
<i>Rendimento</i>	0,31	0,31
<i>Erro médio quadrático</i>		0,07
<i>Correlação</i>		0,96
<i>Valor médio dos resíduos</i>		0,02

FONTE: SEMARH (2000).

Indicadores da validação do posto fluviométrico Mamuaba.

Indicador	Vazões Calculadas pelo modelo AÇUMOD	Vazões Observadas
<i>Média</i>	1,35	1,35
<i>Desvio padrão</i>	0,82	1,22
<i>Máximo</i>	4,22	6,11
<i>Mínimo</i>	0,55	0,35
<i>Rendimento</i>	0,24	0,24
<i>Erro médio quadrático</i>		0,08
<i>Correlação</i>		0,97
<i>Valor médio dos resíduos</i>		0,00

FONTE: SEMARH (2000).

ANEXO 3

DEMANDAS PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO GRAMAME

A.3.1 Demandas Hídricas para Irrigação Prioritária

Demanda mensal da irrigação prioritária (prioridade secundária), em l/s, considerando perdas de 40%.

PC	Demandas hídricas (l/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
42	369,76	327,91	-	-	-	-	-	-	281,53	359,39	343,00	342,13
68	4,44	4,46	-	-	-	-	-	-	5,40	9,09	16,85	9,41
79	42,97	41,96	-	-	-	-	-	-	35,89	41,14	42,89	42,97
132	94,56	86,40	-	-	-	-	-	-	64,09	82,85	77,83	84,05
133	26,81	26,04	-	-	-	-	-	-	22,47	26,19	27,38	27,23
136	46,83	45,66	-	-	-	-	-	-	40,32	48,30	55,85	50,44
158	22,16	17,77	-	-	-	-	-	-	22,25	44,85	77,51	42,91
185	151,24	148,01	-	-	-	-	-	-	125,32	144,74	150,72	151,76
219	25,25	23,15	-	-	-	-	-	-	20,74	26,92	30,46	26,34
265	13,33	12,73	-	-	-	-	-	-	12,13	17,88	26,09	18,29
302	476,39	466,67	-	-	-	-	-	-	398,61	456,94	476,39	476,39
346	15,84	13,77	-	-	-	-	-	-	15,23	26,50	42,83	25,40

FONTE: Adaptado de SEMARH (2000).

A.3.2 Demandas Hídricas para Irrigação não Prioritária

Demanda mensal da irrigação não prioritária (prioridade terciária), em l/s, considerando perdas de 40%.

PC	Demandas hídricas (l/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
42	87,66	85,82	-	-	-	-	-	-	73,29	84,10	87,66	87,66
132	119,07	116,67	-	-	-	-	-	-	99,65	114,21	119,10	119,07
185	635,19	622,22	-	-	-	-	-	-	531,48	609,26	635,19	635,19
219	38,10	37,33	-	-	-	-	-	-	31,87	36,54	38,13	38,10
302	476,39	466,67	-	-	-	-	-	-	398,61	456,94	476,39	476,39
346	15,89	15,57	-	-	-	-	-	-	13,29	15,21	15,88	15,89

FONTE: Adaptado de SEMARH (2000).

ANEXO 4

PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA

ANEXO A.4.1. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR_1.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,66	62,53	0,00	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	28.601,42	330.364,79	220.301,58	59,13	0,00	0,00
43	28,62	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	1.187.208,97	***	***	2,96	***	***
68	98,22	89,43	***	97,06	88,24	***	97,06	89,22	***	83,33	75,00	***	3.123,65	19.462,75	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.911,74	***	100,00	43,94	***
132	98,52	96,84	97,04	97,55	97,06	97,06	98,04	97,06	97,06	40,00	66,67	66,67	3.369.621,60	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	0,59	***	92,65	0,00	***	92,65	0,00	***	66,67	0,00	***	79,14	98.818,02	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,35	3,96	100,00	89,22	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	72,73	0,00	0,00	234.102,37	1.533.408,89	100,00	1,47	0,00
194	98,34	***	***	96,08	***	***	96,57	***	***	50,00	***	***	24.182,82	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	66,84	98,53	87,25	16,67	98,53	88,24	16,67	100,00	61,54	20,00	10.291,68	37.533,22	38.109,13	18,18	0,00	0,00
265	99,40	84,06	***	99,02	76,47	***	99,02	77,45	***	100,00	75,00	***	5.115,74	29.666,16	***	25,32	0,00	***
302	99,96	7,22	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.111.040,89	***	92,86	0,00	***
328	100,00	63,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	263.062,08	***	100,00	60,20	***
346	99,68	32,73	0,00	99,02	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	40.985,53	39.921,54	42,11	0,00	0,00
347	53,55	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	30.685,96	***	***	2,39	***	***
GraMam	99,88	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	30.317,76	***	1.169.288,35	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.2. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR_1.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,88	42,25	0,00	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	16.663,97	509.103,82	220.301,58	62,57	0,00	0,00
43	53,63	***	***	46,57	***	***	48,04	***	***	17,43	***	***	1.491.860,42	***	***	2,26	***	***
68	98,44	77,86	***	97,55	75,49	***	97,55	75,49	***	80,00	72,00	***	7.870,00	19.571,43	***	0,00	0,00	***
79	99,99	98,48	***	99,51	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	2.229,12	33.456,50	***	98,65	54,83	***
132	98,58	98,01	98,09	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	50,00	100,00	100,00	4.154.636,23	216.483,84	292.328,35	2,01	0,00	0,00
133	99,76	94,06	***	98,53	91,18	***	98,53	91,18	***	66,67	88,89	***	7.348,61	45.760,90	***	30,20	0,00	***
136	100,00	79,01	***	100,00	16,67	***	100,00	16,67	***	100,00	20,00	***	0,00	31.517,51	***	100,00	1,63	***
158	99,01	0,00	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	723,17	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	99,83	93,78	2,10	99,51	90,20	0,00	99,51	91,18	0,00	100,00	70,00	0,00	47.220,19	240.834,99	1.563.102,62	78,38	4,70	0,00
194	98,61	***	***	96,57	***	***	97,06	***	***	71,43	***	***	27.766,99	***	***	0,00	***	***
219	99,47	82,19	0,00	98,53	16,67	0,00	98,53	31,37	0,00	100,00	20,00	0,00	13.615,20	14.233,32	95.776,70	44,53	0,00	0,00
265	99,96	89,55	***	99,51	76,47	***	99,51	77,45	***	100,00	79,17	***	1.794,53	19.458,40	***	70,48	0,00	***
302	99,99	5,60	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.365,98	1.130.345,55	***	94,01	0,00	***
328	100,00	50,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	355.622,92	***	100,00	46,20	***
346	99,18	20,40	0,00	99,51	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	12.320,64	48.503,41	39.921,54	8,00	1,73	0,00
347	65,32	***	***	48,04	***	***	48,04	***	***	16,04	***	***	49.957,75	***	***	1,84	***	***
GraMam	99,90	***	99,76	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	61.629,98	***	293.205,31	87,51	***	74,92

ANEXO A.4.3. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR 1.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,95	51,69	17,77	99,02	31,37	15,69	99,02	31,37	15,69	100,00	24,29	18,61	12.192,34	620.667,55	214.861,01	66,55	0,00	0,00
43	57,85	***	***	40,20	***	***	47,55	***	***	14,75	***	***	1.276.716,79	***	***	1,55	***	***
68	99,74	62,76	***	97,55	49,02	***	97,55	49,02	***	80,00	34,62	***	2.759,96	15.829,16	***	0,00	0,00	***
79	100,00	98,72	***	100,00	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	0,00	28.176,25	***	100,00	60,80	***
132	98,54	96,84	97,04	97,55	97,06	97,06	97,55	97,06	97,06	40,00	66,67	66,67	3.494.257,23	228.745,73	301.191,26	2,51	0,00	0,00
133	99,94	83,75	***	99,02	62,75	***	99,02	78,43	***	50,00	47,37	***	3.699,22	29.636,77	***	62,27	0,00	***
136	100,00	67,69	***	100,00	48,04	***	100,00	48,04	***	100,00	30,19	***	0,00	77.819,58	***	100,00	9,08	***
158	99,26	2,10	***	95,29	0,00	***	95,29	0,00	***	75,00	0,00	***	326,05	97.314,08	***	0,00	0,00	***
185	99,99	80,63	10,45	99,51	47,06	0,00	100,00	49,02	0,00	100,00	31,48	0,00	2.981,66	138.791,25	1.429.786,20	96,68	0,00	0,00
194	98,45	***	***	89,71	***	***	89,71	***	***	85,71	***	***	11.945,46	***	***	0,00	***	***
219	99,87	85,59	36,33	99,02	60,78	31,37	99,02	60,78	31,37	100,00	45,00	24,29	7.662,82	24.467,34	88.857,94	33,16	0,00	0,00
265	100,00	83,78	***	99,51	48,04	***	100,00	62,75	***	100,00	33,96	***	26,78	13.671,98	***	99,71	0,00	***
302	99,99	8,53	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.406,16	1.095.346,67	***	93,46	0,00	***
328	100,00	58,33	***	100,00	66,67	***	100,00	66,67	***	100,00	25,00	***	0,00	370.784,30	***	100,00	39,05	***
346	99,89	26,91	14,37	99,51	16,67	15,69	99,51	16,67	16,67	100,00	20,00	18,61	2.115,94	53.442,87	40.545,71	33,61	2,01	0,00
347	71,77	***	***	49,51	***	***	49,51	***	***	17,48	***	***	43.843,80	***	***	2,35	***	***
<i>GraMam</i>	99,94	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	49.335,26	***	1.169.288,35	70,18	***	0,00

ANEXO A.4.4. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE 1.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,66	83,74	64,21	99,02	70,59	60,78	99,02	71,57	60,78	100,00	63,33	45,00	28.601,42	487.426,87	201.040,81	59,13	0,00	0,00
43	71,46	***	***	59,80	***	***	63,24	***	***	26,83	***	***	1.180.724,40	***	***	2,96	***	***
68	98,04	88,72	***	97,06	87,25	***	97,06	88,24	***	83,33	76,92	***	3.430,37	19.178,54	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.995,26	***	100,00	43,94	***
132	98,09	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,55	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.621.870,00	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	31,02	***	92,65	26,47	***	92,65	28,43	***	66,67	18,67	***	79,14	93.258,85	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,27	53,79	100,00	86,27	32,35	100,00	91,18	36,27	100,00	71,43	24,64	0,00	186.119,55	1.090.519,60	100,00	1,47	0,00
194	98,34	***	***	96,08	***	***	96,57	***	***	50,00	***	***	24.182,82	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	83,19	98,53	87,25	78,43	98,53	88,24	79,41	100,00	61,54	63,64	10.291,68	37.533,22	74.656,71	18,18	0,00	0,00
265	99,75	93,69	***	99,51	88,24	***	99,51	90,20	***	100,00	91,67	***	4.178,30	23.491,94	***	50,63	0,00	***
302	99,96	36,75	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.733,15	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
346	99,68	72,31	50,81	99,02	59,80	44,12	99,51	64,71	47,06	100,00	48,78	33,33	803,52	41.967,39	35.137,64	42,11	0,00	0,00
347	88,04	***	***	77,94	***	***	80,39	***	***	51,11	***	***	35.826,18	***	***	2,39	***	***
<i>GraMam</i>	99,88	***	98,93	99,51	***	98,04	99,51	***	98,04	100,00	***	100,00	30.317,76	***	656.304,34	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.5. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS 1.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,66	37,80	65,94	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	28.601,42	548.398,59	75.036,54	59,13	0,00	0,00
43	5,43	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	1.572.809,48	***	***	2,96	***	***
68	98,35	78,00	***	97,06	0,00	***	98,04	0,00	***	83,33	0,00	***	2.890,37	4.767,01	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,95	***	100,00	95,10	***	100,00	95,10	***	100,00	80,00	***	0,00	45.011,46	***	100,00	43,94	***
132	98,61	98,01	98,09	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	50,00	100,00	100,00	3.960.450,50	216.483,84	292.328,35	2,65	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
136	99,81	69,83	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	3.615,84	37.753,16	***	75,71	0,00	***
158	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	78,90	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	100,00	88,91	3,96	100,00	0,00	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	42.078,19	1.533.341,53	100,00	1,47	0,00
194	98,34	***	***	96,08	***	***	96,08	***	***	50,00	***	***	24.182,82	***	***	0,00	***	***
219	99,05	63,84	51,30	98,53	0,00	0,00	98,53	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	10.291,68	24.079,20	46.647,62	18,18	0,00	0,00
265	99,75	86,75	***	99,51	0,00	***	99,51	90,20	***	100,00	0,00	***	4.178,30	5.802,88	***	50,63	0,00	***
302	99,96	2,34	***	99,02	0,00	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.169.380,20	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,93	***	100,00	99,51	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	39.479,62	***	100,00	94,10	***
346	99,68	14,98	7,89	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	51.801,46	36.773,20	42,11	0,00	0,00
347	21,62	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	51.785,81	***	***	2,39	***	***
GraMam	100,00	***	99,96	100,00	***	99,02	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	47.756,74	100,00	***	95,92

ANEXO A.4.6. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR 2.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,22	89,43	***	97,06	88,24	***	97,06	89,22	***	83,33	75,00	***	3.123,65	19.462,75	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.911,74	***	100,00	43,94	***
132	98,52	96,84	97,04	97,55	97,06	97,06	98,04	97,06	97,06	40,00	66,67	66,67	3.369.621,60	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	0,59	***	92,65	0,00	***	92,65	0,00	***	66,67	0,00	***	79,14	98.818,02	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,35	3,96	100,00	89,22	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	72,73	0,00	0,00	234.102,37	1.533.408,89	100,00	1,47	0,00
194	98,34	***	***	96,08	***	***	96,57	***	***	50,00	***	***	24.182,82	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	66,84	98,53	87,25	16,67	98,53	88,24	16,67	100,00	61,54	20,00	10.291,68	37.533,22	38.109,13	18,18	0,00	0,00
265	99,40	84,06	***	99,02	76,47	***	99,02	77,45	***	100,00	75,00	***	5.115,74	29.666,16	***	25,32	0,00	***
302	99,96	7,22	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.111.040,89	***	92,86	0,00	***
328	100,00	63,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	263.062,08	***	100,00	60,20	***
346	99,68	32,73	0,00	99,02	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	40.985,53	39.921,54	42,11	0,00	0,00
347	53,55	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	30.685,96	***	***	2,39	***	***
GraMam	99,88	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	30.317,76	***	1.169.288,35	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.7. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR 2.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,44	77,86	***	97,55	75,49	***	97,55	75,49	***	80,00	72,00	***	7.870,00	19.571,43	***	0,00	0,00	***
79	99,99	98,48	***	99,51	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	2.229,12	33.456,50	***	98,65	54,83	***
132	98,58	98,01	98,09	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	50,00	100,00	100,00	4.154.636,23	216.483,84	292.328,35	2,01	0,00	0,00
133	99,76	94,06	***	98,53	91,18	***	98,53	91,18	***	66,67	88,89	***	7.348,61	45.760,90	***	30,20	0,00	***
136	100,00	79,01	***	100,00	16,67	***	100,00	16,67	***	100,00	20,00	***	0,00	31.517,51	***	100,00	1,63	***
158	99,01	0,00	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	723,17	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	99,83	93,78	2,10	99,51	90,20	0,00	99,51	91,18	0,00	100,00	70,00	0,00	47.220,19	240.834,99	1.563.102,62	78,38	4,70	0,00
194	98,61	***	***	96,57	***	***	97,06	***	***	71,43	***	***	27.766,99	***	***	0,00	***	***
219	99,47	82,19	0,00	98,53	16,67	0,00	98,53	31,37	0,00	100,00	20,00	0,00	13.615,20	14.233,32	95.776,70	44,53	0,00	0,00
265	99,96	89,55	***	99,51	76,47	***	99,51	77,45	***	100,00	79,17	***	1.794,53	19.458,40	***	70,48	0,00	***
302	99,99	5,60	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.365,98	1.130.345,55	***	94,01	0,00	***
328	100,00	50,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	355.622,92	***	100,00	46,20	***
346	99,18	20,40	0,00	99,51	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	12.320,64	48.503,41	39.921,54	8,00	1,73	0,00
347	65,32	***	***	48,04	***	***	48,04	***	***	16,04	***	***	49.957,75	***	***	1,84	***	***
GraMam	99,90	***	99,76	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	61.629,98	***	293.205,31	87,51	***	74,92

ANEXO A.4.8. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR_2.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	99,74	62,76	***	97,55	49,02	***	97,55	49,02	***	80,00	34,62	***	2.759,96	15.829,16	***	0,00	0,00	***
79	100,00	98,72	***	100,00	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	0,00	28.176,25	***	100,00	60,80	***
132	98,54	96,84	97,04	97,55	97,06	97,06	97,55	97,06	97,06	40,00	66,67	66,67	3.494.257,23	228.745,73	301.191,26	2,51	0,00	0,00
133	99,94	83,75	***	99,02	62,75	***	99,02	78,43	***	50,00	47,37	***	3.699,22	29.636,77	***	62,27	0,00	***
136	100,00	67,69	***	100,00	48,04	***	100,00	48,04	***	100,00	30,19	***	0,00	77.819,58	***	100,00	9,08	***
158	99,26	2,10	***	95,29	0,00	***	95,29	0,00	***	75,00	0,00	***	326,05	97.314,08	***	0,00	0,00	***
185	99,99	80,63	10,45	99,51	47,06	0,00	100,00	49,02	0,00	100,00	31,48	0,00	2.981,66	138.791,25	1.429.786,20	96,68	0,00	0,00
194	98,45	***	***	89,71	***	***	89,71	***	***	85,71	***	***	11.945,46	***	***	0,00	***	***
219	99,87	85,59	36,33	99,02	60,78	31,37	99,02	60,78	31,37	100,00	45,00	24,29	7.662,82	24.467,34	88.857,94	33,16	0,00	0,00
265	100,00	83,78	***	99,51	48,04	***	100,00	62,75	***	100,00	33,96	***	26,78	13.671,98	***	99,71	0,00	***
302	99,99	8,53	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.406,16	1.095.346,67	***	93,46	0,00	***
328	100,00	58,33	***	100,00	66,67	***	100,00	66,67	***	100,00	25,00	***	0,00	370.784,30	***	100,00	39,05	***
346	99,89	26,91	14,37	99,51	16,67	15,69	99,51	16,67	16,67	100,00	20,00	18,61	2.115,94	53.442,87	40.545,71	33,61	2,01	0,00
347	71,77	***	***	49,51	***	***	49,51	***	***	17,48	***	***	43.843,80	***	***	2,35	***	***
GraMam	99,94	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	49.335,26	***	1.169.288,35	70,18	***	0,00

ANEXO A.4.9. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE_2.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
Mumbaba	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,04	88,72	***	97,06	87,25	***	97,06	88,24	***	83,33	76,92	***	3.430,37	19.178,54	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.995,26	***	100,00	43,94	***
132	98,09	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,55	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.621.870,00	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	31,02	***	92,65	26,47	***	92,65	28,43	***	66,67	18,67	***	79,14	93.258,85	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,27	53,79	100,00	86,27	32,35	100,00	91,18	36,27	100,00	71,43	24,64	0,00	186.119,55	1.090.519,60	100,00	1,47	0,00
194	98,34	***	***	96,08	***	***	96,57	***	***	50,00	***	***	24.182,82	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	83,19	98,53	87,25	78,43	98,53	88,24	79,41	100,00	61,54	63,64	10.291,68	37.533,22	74.656,71	18,18	0,00	0,00
265	99,75	93,69	***	99,51	88,24	***	99,51	90,20	***	100,00	91,67	***	4.178,30	23.491,94	***	50,63	0,00	***
302	99,96	36,75	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.733,15	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
346	99,68	72,31	50,81	99,02	59,80	44,12	99,51	64,71	47,06	100,00	48,78	33,33	803,52	41.967,39	35.137,64	42,11	0,00	0,00
347	88,04	***	***	77,94	***	***	80,39	***	***	51,11	***	***	35.826,18	***	***	2,39	***	***
GraMam	99,88	***	98,93	99,51	***	98,04	99,51	***	98,04	100,00	***	100,00	30.317,76	***	656.304,34	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.10. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS 2.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,35	78,00	***	97,06	0,00	***	98,04	0,00	***	83,33	0,00	***	2.890,37	4.767,01	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,95	***	100,00	95,10	***	100,00	95,10	***	100,00	80,00	***	0,00	45.011,46	***	100,00	43,94	***
132	98,61	98,01	98,09	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	98,04	50,00	100,00	100,00	3.960.450,50	216.483,84	292.328,35	2,65	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
136	99,81	69,83	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	3.615,84	37.753,16	***	75,71	0,00	***
158	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	78,90	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	100,00	88,91	3,96	100,00	0,00	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	42.078,19	1.533.341,53	100,00	1,47	0,00
194	98,34	***	***	96,08	***	***	96,08	***	***	50,00	***	***	24.182,82	***	***	0,00	***	***
219	99,05	63,84	51,30	98,53	0,00	0,00	98,53	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	10.291,68	24.079,20	46.647,62	18,18	0,00	0,00
265	99,75	86,75	***	99,51	0,00	***	99,51	90,20	***	100,00	0,00	***	4.178,30	5.802,88	***	50,63	0,00	***
302	99,96	2,34	***	99,02	0,00	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.169.380,20	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,93	***	100,00	99,51	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	39.479,62	***	100,00	94,10	***
346	99,68	14,98	7,89	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	51.801,46	36.773,20	42,11	0,00	0,00
347	21,62	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	51.785,81	***	***	2,39	***	***
GraMam	100,00	***	99,96	100,00	***	99,02	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	47.756,74	100,00	***	95,92

ANEXO A.4.11. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR_3.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,22	89,43	***	97,06	88,24	***	97,06	89,22	***	83,33	75,00	***	3.123,65	19.462,75	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.911,74	***	100,00	43,94	***
132	96,97	94,85	93,80	95,59	95,10	93,14	96,08	95,10	93,14	33,33	60,00	28,57	4.378.446,24	224.075,12	270.386,45	1,81	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	0,59	***	92,65	0,00	***	92,65	0,00	***	66,67	0,00	***	79,14	98.818,02	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,35	3,96	100,00	89,22	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	72,73	0,00	0,00	234.102,37	1.533.408,89	100,00	1,47	0,00
194	97,98	***	***	95,59	***	***	95,59	***	***	55,56	***	***	29.938,56	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	66,84	98,53	87,25	16,67	98,53	88,24	16,67	100,00	61,54	20,00	10.291,68	37.533,22	38.109,13	18,18	0,00	0,00
265	99,40	84,06	***	99,02	76,47	***	99,02	77,45	***	100,00	75,00	***	5.115,74	29.666,16	***	25,32	0,00	***
302	99,96	7,22	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.111.040,89	***	92,86	0,00	***
328	100,00	63,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	263.062,08	***	100,00	60,20	***
346	99,68	32,73	0,00	99,02	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	40.985,53	39.921,54	42,11	0,00	0,00
347	54,60	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	29.423,50	***	***	2,44	***	***
GraMam	99,88	***	97,83	99,51	***	97,06	99,51	***	97,06	100,00	***	66,67	30.317,76	***	881.500,03	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.12. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR_3.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,44	77,86	***	97,55	75,49	***	97,55	75,49	***	80,00	72,00	***	7.870,00	19.571,43	***	0,00	0,00	***
79	99,99	98,48	***	99,51	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	2.229,12	33.456,50	***	98,65	54,83	***
132	97,32	94,85	94,89	95,59	95,10	94,12	96,08	95,10	94,12	33,33	60,00	33,33	3.986.461,82	224.075,12	259.896,38	1,35	0,00	0,00
133	99,76	93,51	***	98,53	63,73	***	98,53	91,18	***	66,67	45,95	***	7.348,61	12.156,74	***	30,20	0,00	***
136	100,00	79,01	***	100,00	16,67	***	100,00	16,67	***	100,00	20,00	***	0,00	31.517,51	***	100,00	1,63	***
158	99,01	0,00	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	723,17	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	99,83	93,78	2,10	99,51	90,20	0,00	99,51	91,18	0,00	100,00	70,00	0,00	47.220,19	240.834,99	1.563.102,62	78,38	4,70	0,00
194	98,31	***	***	95,59	***	***	96,08	***	***	55,56	***	***	29.601,79	***	***	0,00	***	***
219	99,47	82,19	0,00	98,53	16,67	0,00	98,53	31,37	0,00	100,00	20,00	0,00	13.615,20	14.233,32	95.776,70	44,53	0,00	0,00
265	99,96	89,55	***	99,51	76,47	***	99,51	77,45	***	100,00	79,17	***	1.794,53	19.458,40	***	70,48	0,00	***
302	99,99	5,60	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.365,98	1.130.345,55	***	94,01	0,00	***
328	100,00	50,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	355.622,92	***	100,00	46,20	***
346	99,18	20,40	0,00	99,51	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	12.320,64	48.503,41	39.921,54	8,00	1,73	0,00
347	65,61	***	***	48,04	***	***	48,04	***	***	16,04	***	***	48.703,42	***	***	1,87	***	***
GraMam	99,85	***	98,09	99,02	***	97,06	99,02	***	97,06	50,00	***	66,67	43.130,02	***	779.392,51	71,81	***	0,00

ANEXO A.4.13. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR 3.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	99,74	62,76	***	97,55	49,02	***	97,55	49,02	***	80,00	34,62	***	2.759,96	15.829,16	***	0,00	0,00	***
79	100,00	98,72	***	100,00	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	0,00	28.176,25	***	100,00	60,80	***
132	96,91	93,68	94,03	95,10	94,12	94,12	95,59	94,12	94,12	30,00	50,00	50,00	4.214.761,34	228.940,85	303.942,67	1,83	0,00	0,00
133	99,94	81,62	***	99,02	62,75	***	99,02	63,73	***	50,00	47,37	***	3.699,22	33.526,54	***	62,27	0,00	***
136	100,00	67,69	***	100,00	48,04	***	100,00	48,04	***	100,00	30,19	***	0,00	77.819,58	***	100,00	9,08	***
158	99,26	2,10	***	95,29	0,00	***	95,29	0,00	***	75,00	0,00	***	326,05	97.314,08	***	0,00	0,00	***
185	99,99	80,63	10,45	99,51	47,06	0,00	100,00	49,02	0,00	100,00	31,48	0,00	2.981,66	138.791,25	1.429.786,20	96,68	0,00	0,00
194	97,51	***	***	88,73	***	***	88,73	***	***	78,26	***	***	19.334,29	***	***	0,00	***	***
219	99,87	85,59	36,33	99,02	60,78	31,37	99,02	60,78	31,37	100,00	45,00	24,29	7.662,82	24.467,34	88.857,94	33,16	0,00	0,00
265	100,00	83,78	***	99,51	48,04	***	100,00	62,75	***	100,00	33,96	***	26,78	13.671,98	***	99,71	0,00	***
302	99,99	8,54	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.406,16	1.095.163,71	***	93,46	0,00	***
328	100,00	58,33	***	100,00	66,67	***	100,00	66,67	***	100,00	25,00	***	0,00	370.784,30	***	100,00	39,05	***
346	99,89	26,91	14,37	99,51	16,67	15,69	99,51	16,67	16,67	100,00	20,00	18,61	2.115,94	53.442,87	40.545,71	33,61	2,01	0,00
347	72,14	***	***	49,51	***	***	49,51	***	***	17,48	***	***	42.583,53	***	***	2,39	***	***
GraMam	99,94	***	96,94	99,51	***	96,08	99,51	***	96,08	100,00	***	50,00	49.335,26	***	934.642,15	70,18	***	0,00

ANEXO A.4.14. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE 3.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
Mumbaba	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,04	88,72	***	97,06	87,25	***	97,06	88,24	***	83,33	76,92	***	3.430,37	19.178,54	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.995,26	***	100,00	43,94	***
132	96,21	91,72	91,45	94,61	92,16	91,18	95,10	92,16	91,18	27,27	37,50	22,22	4.482.578,64	225.062,50	290.059,78	1,81	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	31,02	***	92,65	26,47	***	92,65	28,43	***	66,67	18,67	***	79,14	93.258,85	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,27	53,79	100,00	86,27	32,35	100,00	91,18	36,27	100,00	71,43	24,64	0,00	186.119,55	1.090.519,60	100,00	1,47	0,00
194	97,98	***	***	95,59	***	***	95,59	***	***	55,56	***	***	29.938,56	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	83,19	98,53	87,25	78,43	98,53	88,24	79,41	100,00	61,54	63,64	10.291,68	37.533,22	74.656,71	18,18	0,00	0,00
265	99,75	93,69	***	99,51	88,24	***	99,51	90,20	***	100,00	91,67	***	4.178,30	23.491,94	***	50,63	0,00	***
302	99,96	36,78	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.283,10	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
346	99,68	72,31	50,81	99,02	59,80	44,12	99,51	64,71	47,06	100,00	48,78	33,33	803,52	41.967,39	35.137,64	42,11	0,00	0,00
347	88,24	***	***	77,94	***	***	80,88	***	***	51,11	***	***	34.562,67	***	***	2,44	***	***
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.15. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS 3.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
68	98,35	78,00	***	97,06	0,00	***	98,04	0,00	***	83,33	0,00	***	2.890,37	4.767,01	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,95	***	100,00	95,10	***	100,00	95,10	***	100,00	80,00	***	0,00	45.011,46	***	100,00	43,94	***
132	97,38	94,85	94,58	96,08	95,10	94,12	96,08	95,10	94,12	37,50	60,00	33,33	4.265.976,46	224.075,12	275.578,42	1,81	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
136	99,81	69,83	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	3.615,84	37.753,16	***	75,71	0,00	***
158	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	78,90	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	100,00	88,91	3,96	100,00	0,00	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	42.078,19	1.533.341,53	100,00	1,47	0,00
194	97,98	***	***	95,59	***	***	95,59	***	***	55,56	***	***	29.938,56	***	***	0,00	***	***
219	99,05	63,84	51,30	98,53	0,00	0,00	98,53	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	10.291,68	24.079,20	46.647,62	18,18	0,00	0,00
265	99,75	86,75	***	99,51	0,00	***	99,51	90,20	***	100,00	0,00	***	4.178,30	5.802,88	***	50,63	0,00	***
302	99,96	2,34	***	99,02	0,00	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.169.380,20	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,93	***	100,00	99,51	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	39.479,62	***	100,00	94,10	***
346	99,68	14,98	7,89	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	51.801,46	36.773,20	42,11	0,00	0,00
347	22,04	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	50.523,35	***	***	2,44	***	***
GraMam	99,88	***	98,17	99,51	***	97,06	99,51	***	98,04	100,00	***	66,67	30.317,76	***	744.179,90	75,12	***	0,00

ANEXO A.4.16. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 1VR 4.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	99,69	***	***	99,02	***	***	99,02	***	***	50,00	***	***	862.433,14	***	***	56,67	***	***
68	98,22	89,43	***	97,06	88,24	***	97,06	89,22	***	83,33	75,00	***	3.123,65	19.462,75	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.911,74	***	100,00	43,94	***
132	98,93	89,64	90,09	98,04	90,20	90,20	98,04	90,20	90,20	50,00	40,00	40,00	2.912.278,32	225.415,27	302.585,67	6,53	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	0,59	***	92,65	0,00	***	92,65	0,00	***	66,67	0,00	***	79,14	98.818,02	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,35	3,96	100,00	89,22	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	72,73	0,00	0,00	234.102,37	1.533.408,89	100,00	1,47	0,00
194	97,98	***	***	95,59	***	***	95,59	***	***	55,56	***	***	29.938,56	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	66,84	98,53	87,25	16,67	98,53	88,24	16,67	100,00	61,54	20,00	10.291,68	37.533,22	38.109,13	18,18	0,00	0,00
265	99,40	84,06	***	99,02	76,47	***	99,02	77,45	***	100,00	75,00	***	5.115,74	29.666,16	***	25,32	0,00	***
302	99,96	7,22	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.111.040,89	***	92,86	0,00	***
328	100,00	63,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	263.062,08	***	100,00	60,20	***
346	99,68	32,73	0,00	99,02	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	40.985,53	39.921,54	42,11	0,00	0,00
347	54,60	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	29.423,50	***	***	2,44	***	***
GraMam	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	100,00	***	100,00

ANEXO A.4.17. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 2VR 4.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	99,60	***	***	98,04	***	***	99,02	***	***	50,00	***	***	570.780,22	***	***	58,22	***	***
68	98,44	77,86	***	97,55	75,49	***	97,55	75,49	***	80,00	72,00	***	7.870,00	19.571,43	***	0,00	0,00	***
79	99,99	98,48	***	99,51	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	2.229,12	33.456,50	***	98,65	54,83	***
132	99,11	91,59	91,97	98,04	92,16	92,16	98,53	92,16	92,16	50,00	25,00	25,00	2.496.817,44	228.581,24	306.410,04	8,38	0,00	0,00
133	99,76	93,51	***	98,53	63,73	***	98,53	91,18	***	66,67	45,95	***	7.348,61	12.156,74	***	30,20	0,00	***
136	100,00	79,01	***	100,00	16,67	***	100,00	16,67	***	100,00	20,00	***	0,00	31.517,51	***	100,00	1,63	***
158	99,01	0,00	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	723,17	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	99,83	93,78	2,10	99,51	90,20	0,00	99,51	91,18	0,00	100,00	70,00	0,00	47.220,19	240.834,99	1.563.102,62	78,38	4,70	0,00
194	98,31	***	***	95,59	***	***	96,08	***	***	55,56	***	***	29.601,79	***	***	0,00	***	***
219	99,47	82,19	0,00	98,53	16,67	0,00	98,53	31,37	0,00	100,00	20,00	0,00	13.615,20	14.233,32	95.776,70	44,53	0,00	0,00
265	99,96	89,55	***	99,51	76,47	***	99,51	77,45	***	100,00	79,17	***	1.794,53	19.458,40	***	70,48	0,00	***
302	99,99	5,60	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.365,98	1.130.345,55	***	94,01	0,00	***
328	100,00	50,05	***	100,00	58,33	***	100,00	58,33	***	100,00	20,00	***	0,00	355.622,92	***	100,00	46,20	***
346	99,18	20,40	0,00	99,51	0,00	0,00	99,51	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	12.320,64	48.503,41	39.921,54	8,00	1,73	0,00
347	65,61	***	***	48,04	***	***	48,04	***	***	16,04	***	***	48.703,42	***	***	1,87	***	***
GraMam	99,90	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	100,00	***	100,00	61.629,98	***	0,00	87,51	***	100,00

ANEXO A.4.18. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário 12VR 4.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	99,43	***	***	98,04	***	***	98,53	***	***	50,00	***	***	834.806,09	***	***	51,45	***	***
68	99,74	62,76	***	97,55	49,02	***	97,55	49,02	***	80,00	34,62	***	2.759,96	15.829,16	***	0,00	0,00	***
79	100,00	98,72	***	100,00	95,10	***	100,00	96,08	***	100,00	80,00	***	0,00	28.176,25	***	100,00	60,80	***
132	98,94	89,64	90,09	98,04	90,20	90,20	98,04	90,20	90,20	50,00	40,00	40,00	3.064.194,14	225.415,27	302.585,67	6,99	0,00	0,00
133	99,94	81,62	***	99,02	62,75	***	99,02	63,73	***	50,00	47,37	***	3.699,22	33.526,54	***	62,27	0,00	***
136	100,00	67,69	***	100,00	48,04	***	100,00	48,04	***	100,00	30,19	***	0,00	77.819,58	***	100,00	9,08	***
158	99,26	2,10	***	95,29	0,00	***	95,29	0,00	***	75,00	0,00	***	326,05	97.314,08	***	0,00	0,00	***
185	99,99	80,63	10,45	99,51	47,06	0,00	100,00	49,02	0,00	100,00	31,48	0,00	2.981,66	138.791,25	1.429.786,20	96,68	0,00	0,00
194	97,51	***	***	88,73	***	***	88,73	***	***	78,26	***	***	19.334,29	***	***	0,00	***	***
219	99,87	85,59	36,33	99,02	60,78	31,37	99,02	60,78	31,37	100,00	45,00	24,29	7.662,82	24.467,34	88.857,94	33,16	0,00	0,00
265	100,00	83,78	***	99,51	48,04	***	100,00	62,75	***	100,00	33,96	***	26,78	13.671,98	***	99,71	0,00	***
302	99,99	8,54	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	100,00	0,00	***	1.406,16	1.095.163,71	***	93,46	0,00	***
328	100,00	58,33	***	100,00	66,67	***	100,00	66,67	***	100,00	25,00	***	0,00	370.784,30	***	100,00	39,05	***
346	99,89	26,91	14,37	99,51	16,67	15,69	99,51	16,67	16,67	100,00	20,00	18,61	2.115,94	53.442,87	40.545,71	33,61	2,01	0,00
347	72,14	***	***	49,51	***	***	49,51	***	***	17,48	***	***	42.583,53	***	***	2,39	***	***
GraMam	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	100,00	***	100,00

ANEXO A.4.19. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário VE 4.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	99,69	***	***	99,02	***	***	99,02	***	***	50,00	***	***	862.433,14	***	***	56,67	***	***
68	98,04	88,72	***	97,06	87,25	***	97,06	88,24	***	83,33	76,92	***	3.430,37	19.178,54	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,93	***	100,00	94,12	***	100,00	95,10	***	100,00	83,33	***	0,00	37.995,26	***	100,00	43,94	***
132	98,63	81,58	82,34	98,04	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	50,00	50,00	50,00	3.733.917,91	222.611,47	299.495,09	2,77	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
136	99,81	91,49	***	99,02	85,29	***	99,02	88,24	***	100,00	80,00	***	3.615,84	72.393,58	***	75,71	0,00	***
158	92,62	31,02	***	92,65	26,47	***	92,65	28,43	***	66,67	18,67	***	79,14	93.258,85	***	0,00	0,00	***
185	100,00	93,27	53,79	100,00	86,27	32,35	100,00	91,18	36,27	100,00	71,43	24,64	0,00	186.119,55	1.090.519,60	100,00	1,47	0,00
194	97,98	***	***	95,59	***	***	95,59	***	***	55,56	***	***	29.938,56	***	***	0,00	***	***
219	99,05	92,82	83,19	98,53	87,25	78,43	98,53	88,24	79,41	100,00	61,54	63,64	10.291,68	37.533,22	74.656,71	18,18	0,00	0,00
265	99,75	93,69	***	99,51	88,24	***	99,51	90,20	***	100,00	91,67	***	4.178,30	23.491,94	***	50,63	0,00	***
302	99,96	36,78	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.283,10	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
346	99,68	72,31	50,81	99,02	59,80	44,12	99,51	64,71	47,06	100,00	48,78	33,33	803,52	41.967,39	35.137,64	42,11	0,00	0,00
347	88,24	***	***	77,94	***	***	80,88	***	***	51,11	***	***	34.562,67	***	***	2,44	***	***
GraMam	100,00	***	99,44	100,00	***	99,02	100,00	***	99,02	100,00	***	100,00	0,00	***	687.536,64	100,00	***	41,20

ANEXO A.4.20. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário GS 4.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	99,69	***	***	99,02	***	***	99,02	***	***	50,00	***	***	860.804,50	***	***	56,80	***	***
68	98,35	78,00	***	97,06	0,00	***	98,04	0,00	***	83,33	0,00	***	2.890,37	4.767,01	***	0,00	0,00	***
79	100,00	97,95	***	100,00	95,10	***	100,00	95,10	***	100,00	80,00	***	0,00	45.011,46	***	100,00	43,94	***
132	99,18	90,63	91,05	98,53	91,18	91,18	98,53	91,18	91,18	66,67	33,33	33,33	2.991.385,15	226.407,65	303.725,38	10,77	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
136	99,81	69,83	***	99,02	0,00	***	99,02	0,00	***	100,00	0,00	***	3.615,84	37.753,16	***	75,71	0,00	***
158	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	0,00	0,00	***	78,90	99.404,73	***	0,00	0,00	***
185	100,00	88,91	3,96	100,00	0,00	0,00	100,00	91,18	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	42.078,19	1.533.341,53	100,00	1,47	0,00
194	97,98	***	***	95,59	***	***	95,59	***	***	55,56	***	***	29.938,56	***	***	0,00	***	***
219	99,05	63,84	51,30	98,53	0,00	0,00	98,53	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	10.291,68	24.079,20	46.647,62	18,18	0,00	0,00
265	99,75	86,75	***	99,51	0,00	***	99,51	90,20	***	100,00	0,00	***	4.178,30	5.802,88	***	50,63	0,00	***
302	99,96	2,34	***	99,02	0,00	***	99,51	0,00	***	100,00	0,00	***	1.473,12	1.169.380,20	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,93	***	100,00	99,51	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	39.479,62	***	100,00	94,10	***
346	99,68	14,98	7,89	99,02	0,00	0,00	99,02	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	803,52	51.801,46	36.773,20	42,11	0,00	0,00
347	22,04	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	0,00	***	***	50.523,35	***	***	2,44	***	***
GraMam	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	100,00	***	100,00	0,00	***	0,00	100,00	***	100,00

ANEXO 5

**PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA INTRODUÇÃO SIMPLIFICADA DA
QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE OUTORGA**

ANEXO A.5.1. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 01.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,66	83,74	64,21	99,02	70,59	60,78	99,02	71,57	60,78	100,00	63,33	45,00	28.601,42	487.426,87	201.040,81	59,13	0,00	0,00
43	71,46	***	***	59,80	***	***	63,24	***	***	26,83	***	***	1.180.724,40	***	***	2,96	***	***
048fic	96,04	***	***	91,67	***	***	93,14	***	***	76,47	***	***	45.055,52	***	***	5,83	***	***
132	98,09	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,55	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.621.870,00	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
194fic	95,42	***	***	95,10	***	***	95,10	***	***	60,00	***	***	12.093,49	***	***	0,00	***	***
302	99,96	36,75	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.733,15	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,05	***	***	76,96	***	***	76,96	***	***	51,06	***	***	4.767,96	***	***	0,00	***	***
GraMam	99,88	***	98,93	99,51	***	98,04	99,51	***	98,04	100,00	***	100,00	30.317,76	***	656.304,34	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.2. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 02.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,66	83,74	64,21	99,02	70,59	60,78	99,02	71,57	60,78	100,00	63,33	45,00	28.601,42	487.426,87	201.040,81	59,13	0,00	0,00
43	71,46	***	***	59,80	***	***	63,24	***	***	26,83	***	***	1.180.724,40	***	***	2,96	***	***
048fic	96,04	***	43,73	91,67	***	27,94	93,14	***	32,35	76,47	***	12,25	45.055,52	***	5.160.927,33	5,83	***	0,00
132	97,96	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.871.157,62	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	98,89	89,95	***	98,04	81,37	***	98,04	84,31	***	75,00	84,21	***	11.724,48	36.665,61	***	21,68	0,00	***
194fic	95,42	***	91,51	95,10	***	87,75	95,10	***	88,24	60,00	***	64,00	12.093,49	***	57.030,01	0,00	***	0,00
302	99,96	35,67	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	970.004,57	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,05	***	46,36	76,96	***	30,39	76,96	***	31,37	51,06	***	14,79	4.767,96	***	505.975,77	0,00	***	0,00
GraMam	99,88	***	98,77	99,51	***	97,06	99,51	***	97,06	100,00	***	66,67	30.317,76	***	500.925,02	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.3. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 03.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,66	83,74	64,21	99,02	70,59	60,78	99,02	71,57	60,78	100,00	63,33	45,00	28.601,42	487.426,87	201.040,81	59,13	0,00	0,00
43	71,46	***	***	59,80	***	***	63,24	***	***	26,83	***	***	1.180.724,40	***	***	2,96	***	***
048fic	96,04	93,24	39,41	91,67	75,00	23,04	93,14	75,49	25,98	76,47	49,02	15,29	45.055,52	184.347,26	5.203.190,79	5,83	0,00	0,00
132	97,91	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.959.946,58	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	98,89	88,29	***	98,04	80,39	***	98,04	82,35	***	75,00	80,00	***	11.724,48	40.573,01	***	21,68	0,00	***
194fic	95,42	97,02	87,01	95,10	91,67	83,82	95,10	92,16	84,31	60,00	58,82	66,67	12.093,49	32.852,48	66.110,16	0,00	0,00	0,00
302	99,96	34,88	***	99,02	20,59	***	100,00	21,57	***	100,00	16,05	***	1.473,12	981.958,27	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,05	73,89	23,34	76,96	38,73	13,24	76,96	44,12	14,71	51,06	22,40	9,61	4.767,96	169.877,35	580.174,34	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,88	***	98,24	99,51	***	97,06	99,51	***	97,06	100,00	***	66,67	30.317,76	***	716.429,09	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.4. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 04.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
048fic	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
132	98,09	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,55	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.621.870,00	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	99,06	93,25	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	46.759,25	***	21,68	0,00	***
194fic	95,42	***	***	95,10	***	***	95,10	***	***	60,00	***	***	12.093,49	***	***	0,00	***	***
302	99,96	36,75	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.733,15	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,05	***	***	76,96	***	***	76,96	***	***	51,06	***	***	4.767,96	***	***	0,00	***	***
GraMam	99,88	***	98,93	99,51	***	98,04	99,51	***	98,04	100,00	***	100,00	30.317,76	***	656.304,34	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.5. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 05.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	88,10	75,73	98,04	79,41	74,51	98,04	81,37	74,51	75,00	61,91	46,15	57.564,65	509.606,45	209.717,49	3,40	0,00	0,00
43	80,97	***	***	74,02	***	***	75,98	***	***	33,96	***	***	1.217.885,43	***	***	0,19	***	***
048fic	98,05	***	61,64	95,10	***	50,98	96,57	***	52,94	80,00	***	14,00	37.720,25	***	5.171.531,55	7,22	***	0,00
132	97,96	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.871.157,62	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	98,89	89,95	***	98,04	81,37	***	98,04	84,31	***	75,00	84,21	***	11.724,48	36.665,61	***	21,68	0,00	***
194fic	95,42	***	91,51	95,10	***	87,75	95,10	***	88,24	60,00	***	64,00	12.093,49	***	57.030,01	0,00	***	0,00
302	99,96	35,67	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	970.004,57	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,05	***	46,36	76,96	***	30,39	76,96	***	31,37	51,06	***	14,79	4.767,96	***	505.975,77	0,00	***	0,00
GraMam	99,88	***	98,77	99,51	***	97,06	99,51	***	97,06	100,00	***	66,67	30.317,76	***	500.925,02	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.6. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 06.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	87,53	73,98	98,04	78,43	72,55	98,04	80,39	72,55	75,00	63,64	46,43	57.564,65	509.642,34	208.796,40	3,40	0,00	0,00
43	78,87	***	***	70,59	***	***	73,04	***	***	31,67	***	***	1.194.690,25	***	***	0,19	***	***
048fic	98,05	93,86	54,17	95,10	80,39	43,14	96,57	80,88	43,63	80,00	52,50	12,93	37.720,25	213.621,73	5.327.474,34	7,22	0,00	0,00
132	97,91	96,84	97,04	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	97,06	50,00	66,67	66,67	3.959.946,58	228.745,73	301.191,26	2,08	0,00	0,00
133	98,89	88,29	***	98,04	80,39	***	98,04	82,35	***	75,00	80,00	***	11.724,48	40.573,01	***	21,68	0,00	***
194fic	95,42	97,02	87,01	95,10	91,67	83,82	95,10	92,16	84,31	60,00	58,82	66,67	12.093,49	32.852,48	66.110,16	0,00	0,00	0,00
302	99,96	34,88	***	99,02	20,59	***	100,00	21,57	***	100,00	16,05	***	1.473,12	981.958,27	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,05	73,89	23,34	76,96	38,73	13,24	76,96	44,12	14,71	51,06	22,40	9,61	4.767,96	169.877,35	580.174,34	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,88	***	98,24	99,51	***	97,06	99,51	***	97,06	100,00	***	66,67	30.317,76	***	716.429,09	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.7. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 07.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
048fic	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
132	96,21	91,72	91,45	94,61	92,16	91,18	95,10	92,16	91,18	27,27	37,50	22,22	4.482.578,64	225.062,50	290.059,78	1,81	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	***	***	94,61	***	***	94,61	***	***	54,55	***	***	12.371,85	***	***	0,00	***	***
302	99,96	36,78	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.283,10	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	***	***	76,96	***	***	76,96	***	***	51,06	***	***	4.715,90	***	***	0,00	***	***
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.8. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 08.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	88,10	75,73	98,04	79,41	74,51	98,04	81,37	74,51	75,00	61,91	46,15	57.564,65	509.606,45	209.717,49	3,40	0,00	0,00
43	80,97	***	***	74,02	***	***	75,98	***	***	33,96	***	***	1.217.885,43	***	***	0,19	***	***
048fic	98,05	***	61,64	95,10	***	50,98	96,57	***	52,94	80,00	***	14,00	37.720,25	***	5.171.612,17	7,22	***	0,00
132	95,80	91,72	91,08	94,61	92,16	90,20	94,61	92,16	90,20	27,27	37,50	30,00	4.970.323,92	225.062,50	272.434,23	1,81	0,00	0,00
133	98,89	89,26	***	98,04	81,37	***	98,04	83,33	***	75,00	84,21	***	11.724,48	39.179,99	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	***	90,72	94,61	***	86,27	94,61	***	87,75	54,55	***	67,86	12.371,85	***	55.654,25	0,00	***	0,00
302	99,96	35,68	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	969.813,15	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	***	46,45	76,96	***	30,39	76,96	***	31,37	51,06	***	14,79	4.715,90	***	505.133,77	0,00	***	0,00
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.9. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE 09.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	87,53	73,98	98,04	78,43	72,55	98,04	80,39	72,55	75,00	63,64	46,43	57.564,65	509.642,34	208.796,40	3,40	0,00	0,00
43	78,87	***	***	70,59	***	***	73,04	***	***	31,67	***	***	1.194.690,25	***	***	0,19	***	***
48fic	98,05	93,86	54,17	95,10	80,39	43,14	96,57	80,88	43,63	80,00	52,50	12,93	37.720,25	213.621,73	5.327.543,61	7,22	0,00	0,00
132	95,70	90,73	90,49	94,12	91,18	90,20	94,61	91,18	90,20	33,33	44,44	30,00	4.663.681,20	224.109,31	290.286,63	1,81	0,00	0,00
133	98,89	87,92	***	98,04	80,39	***	98,04	82,35	***	75,00	80,00	***	11.724,48	41.864,86	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	96,71	86,25	94,61	91,18	83,33	94,61	91,67	83,82	54,55	50,00	67,65	12.371,85	34.328,83	67.958,68	0,00	0,00	0,00
302	99,96	35,78	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	968.367,59	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	74,01	23,39	76,96	39,22	13,73	76,96	44,61	14,71	51,06	23,39	9,66	4.715,90	170.457,72	583.102,01	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.10. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_10.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	88,10	75,73	98,04	79,41	74,51	98,04	81,37	74,51	75,00	61,91	46,15	57.564,65	509.606,45	209.717,49	3,40	0,00	0,00
43	80,97	***	***	74,02	***	***	75,98	***	***	33,96	***	***	1.217.885,43	***	***	0,19	***	***
048fic	98,05	***	61,64	95,10	***	50,98	96,57	***	52,94	80,00	***	14,00	37.720,25	***	5.172.121,06	7,22	***	0,00
132	95,75	90,73	90,49	94,12	91,18	90,20	94,61	91,18	90,20	33,33	44,44	30,00	4.608.739,30	224.109,31	290.286,63	1,81	0,00	0,00
133	98,89	85,16	***	98,04	74,51	***	98,04	78,43	***	75,00	61,54	***	11.724,48	39.578,08	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	***	23,41	94,61	***	1,96	94,61	***	2,45	54,55	***	1,00	12.371,85	***	3.068.041,42	0,00	***	0,00
302	99,96	36,49	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	957.726,12	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	***	3,77	76,96	***	0,00	76,96	***	0,00	51,06	***	0,00	4.715,90	***	12.892.989,70	0,00	***	0,00
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.11. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_11.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	87,53	73,98	98,04	78,43	72,55	98,04	80,39	72,55	75,00	63,64	46,43	57.564,65	509.642,34	208.796,40	3,40	0,00	0,00
43	78,87	***	***	70,59	***	***	73,04	***	***	31,67	***	***	1.194.690,25	***	***	0,19	***	***
48fic	98,05	93,86	54,16	95,10	80,39	43,14	96,57	80,88	43,63	80,00	52,50	12,93	37.720,25	213.621,73	5.327.767,81	7,22	0,00	0,00
132	95,66	90,73	90,49	94,12	91,18	90,20	94,12	91,18	90,20	33,33	44,44	30,00	4.710.089,16	224.109,31	290.286,63	1,81	0,00	0,00
133	98,89	85,16	***	98,04	74,51	***	98,04	78,43	***	75,00	61,54	***	11.724,48	39.578,08	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	96,71	21,24	94,61	91,18	1,96	94,61	91,67	2,45	54,55	50,00	1,00	12.371,85	34.328,83	3.155.148,91	0,00	0,00	0,00
302	99,96	35,78	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	968.367,59	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	74,01	1,57	76,96	39,22	0,00	76,96	44,61	0,00	51,06	23,39	0,00	4.715,90	170.457,72	13.188.076,13	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.12. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_12.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	98,64	87,53	73,98	98,04	78,43	72,55	98,04	80,39	72,55	75,00	63,64	46,43	57.564,65	509.642,34	208.796,40	3,40	0,00	0,00
43	78,87	***	***	70,59	***	***	73,04	***	***	31,67	***	***	1.194.690,25	***	***	0,19	***	***
048fic	98,05	93,86	54,16	95,10	80,39	43,14	96,57	80,88	43,63	80,00	52,50	12,93	37.720,25	213.621,73	5.327.767,81	7,22	0,00	0,00
132	96,09	91,72	91,45	94,61	92,16	91,18	94,61	92,16	91,18	27,27	37,50	22,22	4.634.176,48	225.062,50	290.059,78	1,81	0,00	0,00
133	99,03	91,77	***	98,04	84,31	***	98,53	89,22	***	75,00	75,00	***	10.224,58	35.647,02	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	96,71	21,24	94,61	91,18	1,96	94,61	91,67	2,45	54,55	50,00	1,00	12.371,85	34.328,83	3.155.148,91	0,00	0,00	0,00
302	99,96	36,42	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	958.654,60	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	74,01	1,57	76,96	39,22	0,00	76,96	44,61	0,00	51,06	23,39	0,00	4.715,90	170.457,72	13.188.076,13	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,80	***	95,27	99,02	***	94,12	99,02	***	94,12	100,00	***	50,00	25.497,50	***	963.308,88	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.13. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_13.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
43	99,69	***	***	99,02	***	***	99,02	***	***	50,00	***	***	862.433,14	***	***	56,67	***	***
48fic	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	100,00	***	***	0,00	***	***	100,00	***	***
132	98,63	81,58	82,34	98,04	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	50,00	50,00	50,00	3.733.917,91	222.611,47	299.495,09	2,77	0,00	0,00
133	99,06	92,88	***	98,53	90,20	***	98,53	91,18	***	66,67	80,00	***	13.204,22	49.367,06	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	***	***	94,61	***	***	94,61	***	***	54,55	***	***	12.371,85	***	***	0,00	***	***
302	99,96	36,78	***	99,02	20,59	***	100,00	23,53	***	100,00	16,05	***	1.473,12	953.283,10	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	***	***	76,96	***	***	76,96	***	***	51,06	***	***	4.715,90	***	***	0,00	***	***
GraMam	100,00	***	99,44	100,00	***	99,02	100,00	***	99,02	100,00	***	100,00	0,00	***	687.536,64	100,00	***	41,20

ANEXO A.5.14. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_14.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,36	96,30	95,94	99,02	96,08	96,08	99,02	96,08	96,08	50,00	25,00	25,00	54.048,38	831.759,62	227.955,60	12,26	0,00	0,00
43	94,78	***	***	91,18	***	***	92,16	***	***	38,89	***	***	1.606.258,56	***	***	0,39	***	***
48fic	98,92	***	36,49	98,53	***	36,27	98,53	***	36,27	66,67	***	13,08	69.835,97	***	6.587.105,22	7,22	***	0,00
132	98,58	81,58	82,34	97,55	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	40,00	50,00	50,00	3.078.692,41	222.611,47	299.495,09	2,17	0,00	0,00
133	98,89	89,26	***	98,04	81,37	***	98,04	83,33	***	75,00	84,21	***	11.724,48	39.179,99	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	***	90,72	94,61	***	86,27	94,61	***	87,75	54,55	***	67,86	12.371,85	***	55.654,25	0,00	***	0,00
302	99,96	35,68	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	969.813,15	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	***	46,45	76,96	***	30,39	76,96	***	31,37	51,06	***	14,79	4.715,90	***	505.133,77	0,00	***	0,00
GraMam	99,88	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	30.317,76	***	1.169.288,35	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.15. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_15.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,36	96,30	95,94	99,02	96,08	96,08	99,02	96,08	96,08	50,00	25,00	25,00	54.048,38	831.759,62	227.955,60	12,26	0,00	0,00
43	94,49	***	***	90,69	***	***	91,67	***	***	36,84	***	***	1.606.648,38	***	***	0,39	***	***
48fic	98,92	51,08	32,51	98,53	32,35	32,35	98,53	32,35	32,35	66,67	11,59	11,59	69.835,97	493.090,22	6.593.858,46	7,22	0,00	0,00
132	98,58	81,58	82,34	97,55	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	40,00	50,00	50,00	3.082.613,59	222.611,47	299.495,09	2,17	0,00	0,00
133	98,89	87,92	***	98,04	80,39	***	98,04	82,35	***	75,00	80,00	***	11.724,48	41.864,86	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	96,71	86,25	94,61	91,18	83,33	94,61	91,67	83,82	54,55	50,00	67,65	12.371,85	34.328,83	67.958,68	0,00	0,00	0,00
302	99,96	35,78	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	968.367,59	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	74,01	23,39	76,96	39,22	13,73	76,96	44,61	14,71	51,06	23,39	9,66	4.715,90	170.457,72	583.102,01	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,88	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	30.317,76	***	1.169.288,35	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.16. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_16.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,36	96,30	95,94	99,02	96,08	96,08	99,02	96,08	96,08	50,00	25,00	25,00	54.048,38	831.759,62	227.955,60	12,26	0,00	0,00
43	94,78	***	***	91,18	***	***	92,16	***	***	38,89	***	***	1.606.258,56	***	***	0,39	***	***
48fic	98,92	***	36,49	98,53	***	36,27	98,53	***	36,27	66,67	***	13,08	69.835,97	***	6.587.105,22	7,22	***	0,00
132	98,62	81,58	82,34	97,55	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	40,00	50,00	50,00	3.008.957,59	222.611,47	299.495,09	2,17	0,00	0,00
133	98,89	85,16	***	98,04	74,51	***	98,04	78,43	***	75,00	61,54	***	11.724,48	39.578,08	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	***	23,41	94,61	***	1,96	94,61	***	2,45	54,55	***	1,00	12.371,85	***	3.068.041,42	0,00	***	0,00
302	99,96	36,49	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	957.726,12	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	***	3,77	76,96	***	0,00	76,96	***	0,00	51,06	***	0,00	4.715,90	***	12.892.989,70	0,00	***	0,00
GraMam	99,88	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	30.317,76	***	1.169.288,35	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.17. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_17.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,36	96,30	95,94	99,02	96,08	96,08	99,02	96,08	96,08	50,00	25,00	25,00	54.048,38	831.759,62	227.955,60	12,26	0,00	0,00
43	94,49	***	***	90,69	***	***	91,67	***	***	36,84	***	***	1.606.648,38	***	***	0,39	***	***
48fic	98,92	51,08	32,51	98,53	32,35	32,35	98,53	32,35	32,35	66,67	11,59	11,59	69.835,97	493.090,22	6.593.858,46	7,22	0,00	0,00
132	98,58	81,58	82,34	97,55	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	40,00	50,00	50,00	3.082.613,59	222.611,47	299.495,09	2,17	0,00	0,00
133	98,89	85,16	***	98,04	74,51	***	98,04	78,43	***	75,00	61,54	***	11.724,48	39.578,08	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	96,71	21,24	94,61	91,18	1,96	94,61	91,67	2,45	54,55	50,00	1,00	12.371,85	34.328,83	3.155.148,91	0,00	0,00	0,00
302	99,96	35,78	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	968.367,59	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	74,01	1,57	76,96	39,22	0,00	76,96	44,61	0,00	51,06	23,39	0,00	4.715,90	170.457,72	13.188.076,13	0,00	0,00	0,00
GraMam	99,88	***	99,04	99,51	***	99,02	99,51	***	99,02	100,00	***	100,00	30.317,76	***	1.169.288,35	75,12	***	0,00

ANEXO A.5.18. Parâmetros de avaliação do desempenho do Cenário CVE_18.

PC	Garantia volumétrica total (%)			Garantia temporal total (%)			Garantia crítica temporal total (%)			Resiliência x 100			Vulnerabilidade (m³)			Garantia mensal mínima (%)		
	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.	Pri.	Sec.	Ter.
42	99,36	96,30	95,94	99,02	96,08	96,08	99,02	96,08	96,08	50,00	25,00	25,00	54.048,38	831.759,62	227.955,60	12,26	0,00	0,00
43	94,49	***	***	90,69	***	***	91,67	***	***	36,84	***	***	1.606.648,38	***	***	0,39	***	***
48fic	98,92	51,08	32,51	98,53	32,35	32,35	98,53	32,35	32,35	66,67	11,59	11,59	69.835,97	493.090,22	6.593.858,46	7,22	0,00	0,00
132	98,63	81,58	82,34	98,04	82,35	82,35	98,04	82,35	82,35	50,00	50,00	50,00	3.734.915,62	222.611,47	299.495,09	2,77	0,00	0,00
133	99,03	91,77	***	98,04	84,31	***	98,53	89,22	***	75,00	75,00	***	10.224,58	35.647,02	***	21,68	0,00	***
194fic	94,84	96,71	21,24	94,61	91,18	1,96	94,61	91,67	2,45	54,55	50,00	1,00	12.371,85	34.328,83	3.155.148,91	0,00	0,00	0,00
302	99,96	36,42	***	99,02	20,59	***	100,00	22,55	***	100,00	16,05	***	1.473,12	958.654,60	***	92,86	0,00	***
328	100,00	99,83	***	100,00	99,51	***	100,00	99,51	***	100,00	0,00	***	0,00	102.395,23	***	100,00	84,71	***
347fic	77,30	74,01	1,57	76,96	39,22	0,00	76,96	44,61	0,00	51,06	23,39	0,00	4.715,90	170.457,72	13.188.076,13	0,00	0,00	0,00
GraMam	100,00	***	99,21	100,00	***	99,02	100,00	***	99,02	100,00	***	100,00	0,00	***	968.740,13	100,00	***	17,15