



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**

**NOVA PROPOSTA PARA O PROCESSO DE OUTORGA EM  
SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS – ESTUDO DE CASO: BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ**

**TESE DE DOUTORADO  
ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES**

**CAMPINA GRANDE  
MAIO DE 2007**

**ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES**

**NOVA PROPOSTA PARA O PROCESSO DE OUTORGA EM SISTEMAS DE  
RESERVATÓRIOS – ESTUDO DE CASO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PIANCÓ**

**Tese submetida ao Programa de  
Doutorado em Recursos Naturais como  
requisito parcial para obtenção do título  
de Doutor em Recursos Naturais.**

**ORIENTADORA: ROSIRES CATÃO CURI**

**Campina Grande**

**Mai de 2007**

*À minha filha amada, Ana Luísa, ao  
meu querido esposo, Aderson e a  
Maria do Carmo, minha mãe, amiga e  
porto seguro.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela presença constante, em todos os momentos da minha vida, em especial, durante o período de realização desta pesquisa.

À professora Rosires Catão Curi pela orientação, firme e ao mesmo tempo compreensiva, imprescindível para que este estudo fosse concluído.

Ao professor Wilson Fadlo Curi pelo contínuo apoio, incansável disposição em me atender sempre que necessário, e pelas sugestões que contribuíram para o refinamento da pesquisa.

Ao amigo, Alcigeimes Celeste, pela paciência, e valiosa colaboração, principalmente para o desenvolvimento do modelo, sem o qual seria difícil a concretização deste estudo.

Ao meu pai, Florisvaldo, pelo generoso amor que me dedica, e à minha mãe, Maria do Carmo, pelo apoio incondicional em todas as horas e a disponibilidade em cuidar de minha filha, me proporcionando mais tempo para realização da pesquisa.

Ao meu Esposo, Aderson, pelos incontáveis dias de cumplicidade, compreensão, disposição e carinho, e por muitas vezes assumir, tão bem, meu papel de mãe.

À minha irmã, Roberta, pela grande ajuda, principalmente, nas fases de obtenção de resultados e edição final, e aos meus irmãos, Adriana, Flávia e Daniel, pelo suporte afetivo e emocional.

Minha gratidão aos meus sogros, Adilson e Rivanda, pelo afeto e auxílio, indispensável.

À amiga, Dayse, por compartilhar comigo as angústias e alegrias trazidas por um trabalho de pesquisa.

A todos os professores, do programa de doutorado em recursos naturais, pelas experiências transmitidas durante o período em que fui aluna.

À Prof<sup>a</sup> Socorro Pereira, pelas correções e ensinamentos da língua portuguesa.

Aos funcionários do Laboratório de Recursos Hídricos/UFGC, em especial, a bibliotecária Alrezinha, sempre disposta a ajudar.

Ao programa da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante os anos de pesquisa.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que a concretização desse trabalho fosse possível.

## RESUMO

O instrumento de outorga é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois assegura o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, bem como os direitos de acesso ao recurso. No Brasil, a outorga está prevista na Lei 9.433/97, nas leis estaduais específicas de política e sistema de gerenciamento e em decretos. No Estado da Paraíba, por exemplo, o instrumento de outorga é citado na Lei nº 6.308/96 e foi regulamentado através do Decreto nº 19.260/97. No entanto, apesar das legislações em vigor, este instrumento é ainda de difícil implementação e administração. Particularmente para a Bacia do Rio Piancó, situada no sertão paraibano e detentora da maior reserva hídrica do estado, o processo de outorga torna-se ainda mais complexo, devido à grande quantidade de conflitos de uso existentes. Além disso, a referida bacia possui grande parte de sua área controlada por reservatórios, e as metodologias usadas para calcular a vazão máxima a ser outorgada não parecem adequadas para essa situação particular. Diante do exposto, este estudo propõe um modelo linear de otimização diferenciado, pois analisa a possibilidade de concessão ou não de vazão para outorga através de sub-bacias de contribuições individuais por reservatório, e considera tanto pedidos de outorgas com vazões constantes quanto variáveis mensalmente, sendo, portanto, mais adequado para retratar as características da bacia. Conclui-se que o modelo de outorga apresentou resultados coerentes para a Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, podendo ser utilizado em outras bacias com reservatórios. O estudo mostrou, também, que aproximadamente 30% dos reservatórios a montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água não são capazes de fornecer todas as outorgas a que estão destinados de forma que possam garantir um atendimento contínuo em pelo menos 90% do tempo, de acordo com o exigido no Decreto Estadual nº 19.260. Com relação ao sistema Coremas Mãe-D'Água, concluiu-se que, apesar de tratar-se da maior reserva hídrica do estado, bastante cautela deve ser tomada no tocante a retiradas de água, visto que o sistema apresenta problemas de déficit hídrico, que comprometem o atendimento aos pedidos de outorga a ele destinados. Portanto, recomenda-se uma reavaliação das outorgas já concedidas na Bacia do Rio Piancó e análises mais rigorosas com relação à concessão de novas outorgas, tanto no sistema Coremas-Mãe D'Água, quanto a montante e a jusante dele.

**Palavras-Chave:** Bacias Hidrográficas; Gerenciamento; Outorga; Modelo

## ABSTRACT

Water rights instruments are quite important for management of water resources, as it assures the qualitative and quantitative control of water uses, as well as the users' accesses to water. The water rights, in Brazil, are ruled by Law 9.433/97, specific state laws and decrees. At Paraíba state, for example, the water rights are ruled by Law 6.308/96, which has been regulated by Decree 19.260/97. Although there is a number of regulations, this instrument is still difficult to implement and administrate. For the Piancó river basin, located at 'sertão (inland) Paraibano' and having the greatest water reservation capacity of the state, the water rights process is more complex due the existing conflicts on water use. Moreover, this basin has most of its water controlled by reservoirs and methodologies for calculating the water rights maximum stream flows seems not to be adequate for determining it. Therefore, this work is concerned with the development of a linear optimization model to couple with this kind of problem, as it deals with the possibility of water rights concession or not through the use of reservoirs sub-basins concepts, as well as it may be able to couple with monthly variable flows concession requests, which seems to be more adequate to the water uses within this basin. The application of this model to Piancó river basin has generated coherent results and may be applied to other basins controlled by reservoirs. The study has also shown that approximately 30% of Coremas-Mãe D'Água upstream reservoirs are not able to couple with the demands of water rights concession as they cannot fulfill the requirement of 90% for reliability as ruled by State Decree 19.260. Although the Coremas-Mãe D'Água reservoir system has the greatest water reservation capacity of the state, one must be careful about water rights concession grants, once the system presents water deficit, which compromises the fulfillment of its already granted water rights concessions. Therefore, a more rigorously re-evaluation of its already granted water rights concessions, as well of the new ones, should be performed for the Coremas-Mãe D'Água reservoir system and upstream reservoirs.

**Key-words:** *Hydrographic basin, Management, Water rights, Model*

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xxii
Lista de Quadros.....	xv
Lista de Símbolos.....	xvi
<b>CAPÍTULO I – CONTEXTO GERAL</b> .....	01
1 - CONTEXTO GERAL.....	02
<b>CAPÍTULO II – RELEVÂNCIA, CONTRIBUIÇÕES E OBJETIVOS</b> .....	06
2 - RELEVÂNCIA, CONTRIBUIÇÕES E OBJETIVOS.....	07
2.1 - RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	07
2.2 - CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA.....	08
2.3 - OBJETIVOS.....	08
2.3.1 - Geral.....	08
2.3.2 - Específicos.....	09
<b>CAPÍTULO III – UM ESTUDO SOBRE OUTORGA DE USO DA ÁGUA</b> .....	11
3 - UM ESTUDO SOBRE OUTORGA DE USO DA ÁGUA.....	12
3.1 - OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA.....	12
3.2 - SISTEMAS DE OUTORGA NO CENÁRIO INTERNACIONAL.....	13
3.2.1 - Estados Unidos.....	13
3.2.2 - Espanha.....	14
3.2.3 - França.....	14
3.2.4 - Portugal.....	15
3.2.5 - Holanda.....	15
3.2.6 - Austrália.....	16
3.2.7 - Chile.....	16
3.3 - A OUTORGA DE USO DA ÁGUA NO BRASIL.....	17

3.3.1 - A Legislação Federal.....	17
3.3.1.1 - A Lei 9.433/97.....	17
3.3.1.2 - O Projeto de Lei 1.616/99.....	20
3.3.1.3 - A Lei 9.984/2000.....	21
3.3.1.4 - Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.....	22
3.3.2 - As Legislações Estaduais.....	25
3.3.2.1 - A Outorga no Estado da Paraíba.....	27
3.4 - CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL.....	31
3.4.1 - Critério da Vazão Referencial.....	32
3.4.2 - Critério da Quantidade de Falhas Pré-Determinadas (Vazão Excedente).....	35
3.4.3 - Vazão Referencial <i>versus</i> Vazão Excedente.....	37
<b>CAPÍTULO IV – DESCRIÇÃO DA BACIA E DO SISTEMA ESTUDADO.....</b>	<b>38</b>
4 - DESCRIÇÃO DA BACIA E DO SISTEMA ESTUDADO.....	39
4.1 - DESCRIÇÃO DA BACIA DO PIANCÓ.....	39
4.1.1 - Localização da Bacia.....	38
4.1.2 - Características Climatológicas da Bacia.....	42
4.1.2.1 - Evapotranspiração.....	42
4.1.2.2 - Precipitação.....	42
4.1.2.3 - Temperatura Mensal Média.....	43
4.1.3 - Características Hidrológicas da Bacia.....	44
4.1.3.1 - Águas Superficiais.....	44
4.1.3.2 - Águas Subterrâneas.....	46
4.1.3.3 - Qualidade das Águas.....	47
4.1.4 - Características Demográficas.....	52
4.1.4.1 - Evolução Populacional.....	53
4.2 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO.....	54
4.2.1 - Reservatórios do Sistema.....	54
4.2.1.1 - A Montante de Coremas- Mãe D'Água.....	54
4.2.1.2 - Os Reservatórios Coremas e Mãe D'Água.....	56



CAPÍTULO V – O MODELO DE OUTORGA.....	59
5 - O MODELO DE OUTORGA.....	60
5.1 - TENTATIVAS DE USO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA REPRESENTAR O PROCESSO DE OUTORGA.....	60
5.1.1 - Modelos de Simulação.....	60
5.1.1.1 - O Modelo de Simulação Utilizando Vazão Regularizável.....	61
5.1.1.2 - Modelo de Simulação Utilizando Vazão Excedente.....	62
5.1.1.3 - Modelo de Simulação Utilizando Vazão Regularizada e Excedente.....	62
5.2 - MODELO LINEAR DE OTIMIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE PEDIDO DE OUTORGA.....	63
5.2.1 - Dados do Modelo.....	65
5.2.2 - Função Objetivo do Modelo.....	66
5.2.3 - Restrições do Modelo.....	66
5.2.4 - Modelagem do Programa em Linguagem Matlab.....	70
5.2.5 - Fluxograma do Modelo de Outorga.....	78
 CAPÍTULO VI – COLETA DE DADOS.....	 79
6 - COLETA DE DADOS.....	80
6.1 - DADOS DE EVAPORAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.....	80
6.2 - DADOS DE VAZÕES AFLUENTES.....	80
6.3 - DADOS TÉCNICOS DOS RESERVATÓRIOS.....	81
6.3.1 - Definição de Pontos de Controle.....	81
6.3.2 - Curvas Cota × Área × Volume.....	83
6.4 - DEMANDAS OUTORGADAS.....	84
6.4.1 - Demandas Atuais de Montante.....	84
6.4.1.1 - Abastecimento Humano.....	84
6.4.1.2 - Irrigação.....	85
6.4.1.3 - Piscicultura.....	89
6.4.2 - Demandas Atuais do Sistema Coremas Mãe D'água e de Jusante.....	90
6.4.3 - Demandas Futuras a Montante.....	93
6.4.3.1 - Abastecimento Humano.....	93
6.4.3.2 - Irrigação.....	97

6.4.3.3 - Piscicultura.....	98
6.4.4 - Demandas Futuras dos Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e jusante.....	98
<b>CAPÍTULO VII – METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO.....</b>	<b>99</b>
7 - METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO.....	100
7.1 - DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTO PARA A BACIA DO PIANCÓ.....	100
7.2 - CENÁRIOS DE DEMANDA HÍDRICA RESERVATÓRIOS ISOLADOS.....	101
7.2.1 - Demandas Hídricas Atuais.....	103
7.2.1.1 - Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água..	103
7.2.1.2 - Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e Jusante.....	104
7.2.2 - Demandas Hídricas Futuras.....	105
7.2.2.1 - Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água..	105
7.2.3 - Demandas com Gerenciamento Alternativo.....	106
7.3 - CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM SÉRIE (CDHRS).....	107
7.3.1 - Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	108
7.3.2 - Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e Jusante.....	110
7.4 - CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM PARALELO (CDHRP).....	110
7.4.1 - Análise dos Reservatórios a Montante.....	111
7.4.2 - Análise dos Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e Jusante.....	113
7.5 - METODOLOGIA DO ESTUDO.....	113
<b>CAPÍTULO VIII – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>116</b>
8 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	117
8.1 - CENÁRIOS DE DEMANDA HÍDRICA COM RESERVATÓRIOS ISOLADOS (CDHRI).....	117
8.1.1 - Demandas Hídricas Atuais.....	117
8.1.1.1 - Reservatórios a Montante do Sistema Coremas Mãe D'Água..	117
8.1.1.1.1 - Reservatórios Destinados apenas a Usos Prioritários (abastecimento).....	117
8.1.1.1.2 - Reservatórios Destinados a Usos Prioritários e não Prioritários (abastecimento e outros usos).....	127

8.1.1.1.3 - Reservatórios Destinados a Usos não Prioritários (outros usos).....	143
8.1.1.2 - Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e Jusante.....	166
8.1.1.2.1 - Demanda de Montante.....	167
8.1.1.2.2 - Demanda Diretamente Ligadas ao Sistema Coremas-Mãe D'Água e de jusante .....	171
8.1.1.2.3 - Influência de algumas demandas sobre o comportamento hídrico do Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	188
8.1.2 - Demandas Hídricas Futuras.....	192
8.1.2.1 - Reservatórios a Montante do Sistema Coremas Mãe D'Água.....	192
8.1.2.1.1 - Reservatórios Destinados apenas a Usos Prioritários (Abastecimento) – Ano 2017.....	192
8.1.2.1.2 - Reservatórios Destinados apenas a Usos Prioritários (Abastecimento) – Ano 2027.....	198
8.1.2.1.3 - Reservatórios Destinados a Usos Prioritários e não Prioritários (abastecimento e outros usos) – Ano 2017.....	203
8.1.2.1.4 - Reservatórios Destinados a Usos Prioritários e não Prioritários (abastecimento e outros usos) – Ano 2027.....	214
8.1.2.1.5 - Reservatórios Destinados a Usos não Prioritários (outros usos) - Ano 2017.....	227
8.1.3 - Demandas com Gerenciamento Alternativo.....	229
8.1.3.1 - Demandas a Montante do Sistema Coremas Mãe D'Água.....	230
8.1.3.2 - Demandas Diretamente Ligadas ao Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	233
8.2 - CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM SÉRIE (CDHRS).....	241
8.2.1 - Análise dos Reservatórios a Montante.....	241
8.2.2 - Análise do Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	245
8.3 - CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM PARALELO (CDHRP).....	252
8.3.1 - Análise dos Reservatórios a Montante.....	253
8.3.2 - Análise do Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	255
CAPÍTULO IX – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	259
9 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	260

9.1 - CONCLUSÕES.....	260
9.1.1 – Gerais.....	260
9.1.2 – Específicas.....	261
9.1.2.1 - Cenário de Demanda Hídrica Com Reservatórios Isolados.....	261
9.1.2.2 - Cenário de Demanda Hídrica com Reservatórios em Série.....	265
9.1.2.3 – Cenário de Demanda Hídrica com Reservatórios em Paralelo.	267
9.2 - RECOMENDAÇÕES.....	268
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>270</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>276</b>
APÊNDICE A.....	277

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b> –	Localização e fronteiras da Bacia do Rio Piancó.....	40
<b>Figura 4.2</b> –	Bacia do Rio Piancó.....	41
<b>Figura 4.3</b> –	Distribuição mensal de precipitação e evaporação do reservatório Coremas.....	43
<b>Figura 4.4</b> –	Principais afluências do sistema Coremas-Mãe D'Água.....	55
<b>Figura 4.5</b> –	Imagens fotográficas do Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	57
<b>Figura 4.6</b> –	Imagens fotográficas do Canal da Redenção.....	58
<b>Figura 5.1</b> –	Esquemática das bacias de contribuição dos reservatórios.....	64
<b>Figura 5.2</b> –	Esquemática dos casos de ocorrência de déficit hídrico e vertimento.....	67
<b>Figura 5.3</b> –	Linearização da curva área-volume.....	69
<b>Figura 5.4</b> –	Fluxograma do modelo de outorga.....	78
<b>Figura 6.1</b> –	Definição dos pontos de controle a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água.....	82
<b>Figura 6.2</b> –	Evolução populacional das cidades das cidades estudadas na bacia do Piancó.....	96
<b>Figura 7.1</b> –	Organograma de descrição dos cenários de demanda hídrica atuais.	102
<b>Figura 7.2</b> –	Organograma de descrição dos cenários de demanda hídrica futuras.....	109
<b>Figura 7.3</b> –	Organograma de descrição dos cenários de demanda hídrica de gerenciamento alternativo.....	112
<b>Figura 7.4</b> –	Organograma das etapas metodológicas utilizadas no estudo.....	115
<b>Figura 8.1</b> –	Comportamento do Reservatório Serra Vermelha I ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	119
<b>Figura 8.1a</b> –	Vazões afluentes ao Reservatório Serra Vermelha I correspondente a uma série de 53 anos.....	119
<b>Figura 8.2</b> –	Comportamento do Reservatório Piranhas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	120
<b>Figura 8.3</b> –	Comportamento do Reservatório Catolé ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	121
<b>Figura 8.4</b> –	Comportamento do Reservatório Jatobá II ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	122
<b>Figura 8.5</b> –	Comportamento do Reservatório Boqueirão dos Cochós ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	123

<b>Figura 8.6 –</b>	Comportamento do Reservatório Emas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	124
<b>Figura 8.7 –</b>	Comportamento do Reservatório Jenipapeiro ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	125
<b>Figura 8.8 –</b>	Comportamento do Reservatório Bom Jesus ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	125
<b>Figura 8.9 –</b>	Comportamento do Reservatório Glória ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	126
<b>Figura 8.10 -</b>	Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	129
<b>Figura 8.11 –</b>	Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes.....	130
<b>Figura 8.12 –</b>	Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Poço Redondo.....	130
<b>Figura 8.13 –</b>	Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	131
<b>Figura 8.14 –</b>	Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Bruscas.....	132
<b>Figura 8.15 –</b>	Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Bruscas.....	132
<b>Figura 8.16 –</b>	Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa.....	133
<b>Figura 8.17 –</b>	Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	134
<b>Figura 8.18 –</b>	Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.....	134
<b>Figura 8.19 –</b>	Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	135
<b>Figura 8.20 –</b>	Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá.....	136
<b>Figura 8.21 –</b>	Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado de Gravatá.....	136

<b>Figura 8.22</b> –	Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.....	137
<b>Figura 8.23</b> –	Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	138
<b>Figura 8.24</b> –	Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.....	138
<b>Figura 8.25</b> –	Comportamento do Reservatório Frutuosos II ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	139
<b>Figura 8.26</b> –	Comportamento do Reservatório Frutuosos II ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.....	140
<b>Figura 8.27</b> –	Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.....	141
<b>Figura 8.28</b> –	Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 1)...	141
<b>Figura 8.29</b> –	Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 2)...	142
<b>Figura 8.30</b> –	Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 3)...	142
<b>Figura 8.31</b> –	Comportamento do Reservatório Condado ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura (pedido 1).....	145
<b>Figura 8.32</b> –	Comportamento do Reservatório Condado ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura (pedido 2).....	145
<b>Figura 8.33</b> –	Comportamento do Reservatório Vazante ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa.....	146
<b>Figura 8.34</b> –	Comportamento do Reservatório Vidéo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 1).....	147
<b>Figura 8.35</b> –	Comportamento do Reservatório Vidéo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 2).....	148
<b>Figura 8.36</b> –	Comportamento do Reservatório Vidéo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 3).....	148
<b>Figura 8.37</b> –	Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado de Gravatá.....	149
<b>Figura 8.38</b> –	Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado de Gravatá.....	150
<b>Figura 8.39</b> –	Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.....	150

<b>Figura 8.40</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 1).....	151
<b>Figura 8.41</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 2).....	152
<b>Figura 8.42</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 3).....	153
<b>Figura 8.43</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 4).....	153
<b>Figura 8.44</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 5).....	154
<b>Figura 8.45</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 6).....	155
<b>Figura 8.46</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 7).....	155
<b>Figura 8.47</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 8).....	156
<b>Figura 8.48</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 9).....	156
<b>Figura 8.49</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 10).....	157
<b>Figura 8.50</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 11).....	157
<b>Figura 8.51</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 12).....	158
<b>Figura 8.52</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 13).....	158
<b>Figura 8.53</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 14).....	159
<b>Figura 8.54</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 15).....	159
<b>Figura 8.55</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 16).....	160
<b>Figura 8.56</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 17).....	160
<b>Figura 8.57</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 18).....	161
<b>Figura 8.58</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 19).....	161



<b>Figura 8.59</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 20).....	162
<b>Figura 8.60</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 21).....	162
<b>Figura 8.61</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 22).....	163
<b>Figura 8.62</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 23).....	163
<b>Figura 8.63</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 24).....	164
<b>Figura 8.64</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 25).....	164
<b>Figura 8.65</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 26).....	165
<b>Figura 8.66</b> –	Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 27).....	165
<b>Figura 8.67</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado Piancó III.....	168
<b>Figura 8.68</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado Piancó-Brotas.....	169
<b>Figura 8.69</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado Piancó-Brotas.....	169
<b>Figura 8.70</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado Piancó II.....	170
<b>Figura 8.71</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado Piancó III.....	170
<b>Figura 8.72</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento diretamente ligada ao sistema.....	174
<b>Figura 8.73</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento a jusante.....	174
<b>Figura 8.74</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de adutora diretamente ligada ao sistema.....	175

<b>Figura 8.75</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda da adutora de jusante.....	176
<b>Figura 8.76</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento á demanda de irrigação difusa diretamente ligada ao sistema.....	176
<b>Figura 8.77</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros.....	177
<b>Figura 8.78</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura.....	178
<b>Figura 8.79</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa de jusante....	179
<b>Figura 8.80</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros a jusante.....	179
<b>Figura 8.81</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de indústria a jusante.....	180
<b>Figura 8.82</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura a jusante.....	180
<b>Figura 8.83</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa a jusante.....	182
<b>Figura 8.84</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros.....	183
<b>Figura 8.85</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros a jusante.....	184
<b>Figura 8.86</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura .....	185
<b>Figura 8.87</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura a jusante.....	185
<b>Figura 8.88</b> –	Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de indústria.....	186
<b>Figura 8.89</b> –	Comportamento do Reservatório Catolé ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	194
<b>Figura 8.90</b> –	Comportamento do Reservatório Jatobá II ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	195
<b>Figura 8.91</b> –	Comportamento do Reservatório Boqueirão dos Cochós ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	195

<b>Figura 8.92</b> –	Comportamento do Reservatório Emas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	196
<b>Figura 8.93</b> –	Comportamento do Reservatório Jenipapeiro ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	196
<b>Figura 8.94</b> –	Comportamento do Reservatório Bom Jesus ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	197
<b>Figura 8.95</b> –	Comportamento do Reservatório Gloria ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	197
<b>Figura 8.96</b> –	Comportamento do Reservatório Piranhas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	199
<b>Figura 8.97</b> –	Comportamento do Reservatório Catolé ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	199
<b>Figura 8.98</b> –	Comportamento do Reservatório Jatobá II ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	200
<b>Figura 8.99</b> –	Comportamento do Reservatório Boqueirão dos Cochos ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	200
<b>Figura 8.100</b> –	Comportamento do Reservatório Emas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	201
<b>Figura 8.101</b> –	Comportamento do Reservatório Jenipapeiro ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	201
<b>Figura 8.102</b> –	Comportamento do Reservatório Bom Jesus ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	202
<b>Figura 8.103</b> –	Comportamento do Reservatório Glória ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	202
<b>Figura 8.104</b> –	Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.	205
<b>Figura 8.105</b> –	Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Poço Redondo no ano 2017.....	205
<b>Figura 8.106</b> -	Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Poço Redondo no ano 2017.....	206
<b>Figura 8.107</b> –	Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	207
<b>Figura 8.108</b> –	Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Bruscas no ano 2017.....	207

<b>Figura 8.109</b> – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Bruscas no ano 2017.....	208
<b>Figura 8.110</b> – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa no ano 2017.....	208
<b>Figura 8.111</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017..	209
<b>Figura 8.112</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura no ano 2017.....	210
<b>Figura 8.113</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	211
<b>Figura 8.114</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá no ano 2017.....	211
<b>Figura 8.115</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Gravatá no ano 2017.....	212
<b>Figura 8.116</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura no ano 2017.....	212
<b>Figura 8.117</b> – Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2017.....	213
<b>Figura 8.118</b> – Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura no ano 2017.....	214
<b>Figura 8.119</b> – Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	216
<b>Figura 8.120</b> – Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Poço Redondo no ano 2027.....	216
<b>Figura 8.121</b> – Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Poço Redondo no ano 2027.....	217
<b>Figura 8.122</b> – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	218
<b>Figura 8.123</b> – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Bruscas no ano 2027.....	218
<b>Figura 8.124</b> – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Bruscas no ano 2027.....	219

<b>Figura 8.125</b> – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa no ano 2027.....	219
<b>Figura 8.126</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027..	220
<b>Figura 8.127</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura no ano 2027.....	221
<b>Figura 8.128</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	222
<b>Figura 8.129</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá no ano 2027.....	222
<b>Figura 8.130</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Gravatá no ano 2027.....	223
<b>Figura 8.131</b> – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura no ano 2027.....	223
<b>Figura 8.132</b> – Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027.....	224
<b>Figura 8.133</b> – Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura no ano 2027.....	224
<b>Figura 8.134</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento no ano 2027..	225
<b>Figura 8.135</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 1) no ano 2027.....	225
<b>Figura 8.136</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 2) no ano 2027.....	226
<b>Figura 8.137</b> – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 3) no ano 2027.....	226
<b>Figura 8.138</b> – Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes no perímetro de Gravatá no ano 2017.....	228
<b>Figura 8.139</b> – Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais no perímetro de Gravatá no ano 2017.....	228
<b>Figura 8.140</b> – Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura ano 2017.....	229

<b>Figura 8.141</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Piancó III após a transposição.....	231
<b>Figura 8.142</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Piancó-Brotas após a transposição.....	231
<b>Figura 8.143</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Piancó-Brotas após a transposição.....	232
<b>Figura 8.144</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Piancó II após a transposição.....	232
<b>Figura 8.145</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Piancó III após a transposição.....	233
<b>Figura 8.146</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento após a transposição.....	235
<b>Figura 8.147</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda da adutora após a transposição..	235
<b>Figura 8.148</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda da irrigação difusa após a transposição.....	236
<b>Figura 8.149</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda da irrigação de perímetros após a transposição.....	236
<b>Figura 8.150</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura após a transposição.....	237
<b>Figura 8.151</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento de jusante após a transposição.....	238
<b>Figura 8.152</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda da adutora após a transposição..	238
<b>Figura 8.153</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa a jusante após a transposição.....	239
<b>Figura 8.154</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de perímetros a jusante após a transposição.....	239

<b>Figura 8.155</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento a demanda de indústria a jusante após a transposição.....	240
<b>Figura 8.156</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura a jusante após a transposição.....	240

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1</b>	– Evaporação média mensal e anual do Posto de Coremas na Bacia do Piancó.....	42
<b>Tabela 4.2</b>	– Precipitações médias mensais e anual no posto de Coremas.....	43
<b>Tabela 4.3</b>	– Temperaturas médias mensais e anual observados no posto de Coremas.....	43
<b>Tabela 4.4</b>	– Número de açudes por ordem do curso d'água.....	45
<b>Tabela 4.5</b>	– Distribuição das capacidades de armazenamento (em milhões de m <sup>3</sup> ) por ordem do curso d'água.....	46
<b>Tabela 4.6</b>	– Parâmetros de qualidade da água de açudes utilizados para abastecimento público da bacia do Rio Piancó.....	49
<b>Tabela 4.7</b>	– Análise físico-química da água de grandes açudes da região da bacia do Rio Piancó para fins de irrigação.....	51
<b>Tabela 4.8</b>	– Dados sobre os tributários a montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água.....	55
<b>Tabela 4.9</b>	– Classificação dos açudes a montante do sistema com relação ao porte.....	56
<b>Tabela 6.1</b>	– Dados técnicos dos reservatórios de montante do sistema Coremas Mãe D'Água.....	83
<b>Tabela 6.2</b>	– Outorgas concedidas para abastecimento urbano por reservatório.....	85
<b>Tabela 6.3</b>	– Outorgas concedidas para irrigação difusa a montante do sistema.....	86
<b>Tabela 6.4</b>	– Características técnicas dos projetos de irrigação.....	87
<b>Tabela 6.5</b>	– Demandas mensais dos perímetros irrigados a montante de Coremas-Mãe D'Água.....	88
<b>Tabela 6.6</b>	– Outorgas concedidas para piscicultura a montante de Coremas-Mãe D'Água.....	89
<b>Tabela 6.7</b>	– Vazões disponíveis para outorga no Sistema Coremas-Mãe D'Água e a jusante segundo a Resolução da ANA nº 687.....	92
<b>Tabela 6.8</b>	– Vazões máximas disponíveis para outorga no Sistema Coremas-Mãe D'Água e a jusante.....	93
<b>Tabela 6.9</b>	– Dados populacionais dos municípios da Bacia do Piancó.....	95
<b>Tabela 6.10</b>	– Projeção das populações dos municípios da bacia do Piancó.....	95
<b>Tabela 6.11</b>	– Demanda hídrica urbana por número de habitantes segundo a CAGEPA.....	96



<b>Tabela 6.12</b> – Projeções das demandas hídricas para abastecimento na bacia do Rio Piancó.....	97
<b>Tabela 6.13</b> – Projeções dos volumes dos reservatórios destinados a atender a demanda de irrigação dos perímetros.....	98
<b>Tabela 8.1</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados apenas a abastecimento.....	118
<b>Tabela 8.2</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos.....	128
<b>Tabela 8.3</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a usos não prioritários.....	144
<b>Tabela 8.4</b> – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento no sistema Coremas-Mãe D'Água.....	167
<b>Tabela 8.5</b> – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água.....	172
<b>Tabela 8.6</b> – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento a jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água.....	182
<b>Tabela 8.7</b> – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento a jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água.....	187
<b>Tabela 8.8</b> – Garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água retiradas as demandas dos perímetros irrigados a montante.....	189
<b>Tabela 8.9</b> – Garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água reduzindo as demandas de abastecimento de jusante.....	190
<b>Tabela 8.10</b> – Garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água sem as demandas do perímetro irrigado de Souza.....	192
<b>Tabela 8.11</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados apenas a abastecimento para o ano de 2017.....	193
<b>Tabela 8.12</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados apenas a abastecimento para o ano de 2027.....	198
<b>Tabela 8.13</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos para o ano de 2017.....	204
<b>Tabela 8.14</b> – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos para o ano de 2027.....	215
<b>Tabela 8.15</b> – Demandas médias e garantia de atendimento do reservatório Canoas para o ano 2017.....	227
<b>Tabela 8.16</b> – Demandas médias e garantia de atendimento após a transposição.....	230
<b>Tabela 8.17</b> – Demandas diretamente ligadas ao sistema e garantia de atendimento após a transposição.....	234

<b>Tabela 8.18</b> – Situação dos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água com relação a disponibilidade de água.....	242
<b>Tabela 8.19</b> – Análise das garantias de atendimento às demandas com e sem vertimento a montante do sistema.....	246
<b>Tabela 8.20</b> – Situação do sistema Coremas-Mãe D'Água com relação à disponibilidade de água.....	248
<b>Tabela 8.21</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água em relação às demandas médias considerando a análise com vertimento e fazendo alterações de demanda.....	250
<b>Tabela 8.22</b> – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, com e sem vertimento, com relação às vazões requeridas e considerando as alterações de demandas.....	251
<b>Tabela 8.23</b> - Situação dos reservatórios com déficit de água quando atendidos por reservatórios vizinhos.....	253
<b>Tabela 8.24</b> - Situação do sistema Coremas-Mãe D'Água quando considerados os reservatórios a montante atendidos por outros paralelos.....	256

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 3.1</b>	–	Considerações apresentadas pela Lei 9.433 sobre outorga de uso da água.....	18
<b>Quadro 3.2</b>	–	Considerações apresentadas no Decreto 19.260/97.....	28
<b>Quadro 3.3</b>	–	Sistema Informatizado de Outorga.....	31
<b>Quadro 7.1</b>	–	Descrição dos cenários propostos no estudo.....	101

## LISTA DE SÍMBOLOS

$N$	=	Horizonte de operação em meses
$D(t)$	=	Demanda no mês $t$ (pedido de outorga)
$Q(t)$	=	Volume já outorga no mês $t$
$S_o$	=	Armazenamento inicial
$S_{max}$	=	Armazenamento máximo
$S_{morto}$	=	Volume mínimo ou morto
$I(t)$	=	Afluxo no mês $t$
$\alpha_1(t)$	=	Prioridade para atender a demanda $D(t)$ ( $\alpha_1(1) > \alpha_1(2) > \dots > \alpha_1(3)$ )
$\alpha_2(t)$	=	Prioridade para minimizar vertimentos mais déficits
$e_o(t)$	=	Perda fixa por evaporação no mês $t$
$e(t)$	=	Perda de evaporação por unidade de armazenamento no mês $t$
$R(t)$	=	Alocação no mês $t$ (para atender $d(t)$ )
$S(t)$	=	Armazenamento no final do mês $t$
$Sp(t)$	=	Vertimento no mês $t$
$Def(t)$	=	Déficit em relação à $S_{max}$ no mês $t$
$t$	=	Índice de tempo (base mensal)
$E(t)$	=	Volume evaporado durante o mês $t$
$\varepsilon(t)$	=	Taxa de evaporação durante o mês $t$
$A(t)$	=	Área da superfície líquida no final do mês $t$
$a_o$	=	Área definida pela reta para o volume morto
$\alpha$	=	Declividade da reta
$i$	=	Cultura
$Q_c(i, t)$	=	Vazão para cada cultura $i$ no mês $t$
$Q_{mes}(t)$	=	Vazão total no mês $t$
$K_c(i, t)$	=	Coefficiente de cultivo de cultura $i$ , no mês $t$
$A_{irrig}(i)$	=	Área irrigada da cultura $i$

A black and white photograph of water being poured into a glass. The water is captured in mid-air, creating a dynamic splash with many droplets. The background is a soft, out-of-focus gradient.

# **Capítulo I**

## **Contexto Geral**

## 1 CONTEXTO GERAL

Desde meados do século XIX, sociedade e governos têm tomado conhecimento dos impactos do processo de desenvolvimento sobre o meio ambiente. Todavia, esses impactos tornaram-se mais evidentes na segunda metade do século XX. Somente a partir dos anos 90, porém, deram início a esforços conjuntos na tentativa de se criar um novo modelo de desenvolvimento, tendo como princípio básico a sustentabilidade. Dentro desta nova ótica, a proteção quali-quantitativa aos recursos hídricos têm sido constante motivo de preocupação e, a prova disto, são os inúmeros fóruns mundiais sobre o tema. A Eco-92 foi a primeira grande conferência mundial sobre meio ambiente que deu a real importância aos recursos hídricos.

Segundo Berbert (2003), a partir da Eco-92 temas específicos como hidrologia tornaram-se mais freqüentes, tanto na esfera nacional, como mundial; leis específicas de água foram promovidas e/ou aprimoradas em várias nações; a Divisão das Ciências das Águas e o Programa Hidrológico Internacional da Unesco foram fortalecidos, tornando-se mais atuantes nos países em desenvolvimento. Além dessas, o autor também enfatiza outras importantes ações realizadas a partir de 1992, como a criação do Dia Mundial das Águas (22 de março de 1992), pela Organização das Nações Unidas (ONU); a elaboração da Declaração Universal dos Direitos da Água e a organização de Fóruns Mundiais de Água, como a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo, África do Sul, no ano de 2002, conhecida como a Rio +10, o Fórum de Quioto, Japão, em 2003, e o lançamento do Ano Internacional da Água Doce, em 2003, pela ONU.

No âmbito nacional, entre as ações estabelecidas para enfatizar a importância da água e assegurar a proteção desse recurso, está a criação da Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Tendo em vista que a água é um bem de domínio público, sendo, contudo, um recurso natural limitado, a Política Nacional de Recursos Hídricos objetiva assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, visando o desenvolvimento sustentável; e a proteção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrente do uso inadequado dos recursos naturais.

Entre os instrumentos previstos na Política Nacional pode-se destacar a outorga de direito de uso da água, como importante ferramenta de suporte à gestão e ao gerenciamento de recursos hídricos.

Assim como na legislação federal, a outorga está prevista também em legislações estaduais específicas e em alguns Estados através de decretos que regulamentam este instrumento. Na Paraíba, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos é citada na Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, que objetiva assegurar o uso integrado e racional dos recursos hídricos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do Estado e é regulamentada através do decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997.

Porém, apesar de prevista em legislações e decretos, tanto no âmbito nacional como estadual, a outorga não é um instrumento de fácil implementação e administração. Sua complexidade advém, de um lado, da própria natureza dos recursos hídricos, com seus usos e atributos múltiplos em um quadro de ocorrência estocástica e demandas crescentes, e, do outro, do contexto em que se insere seu gerenciamento, envolvendo interesses conflitantes e os mais distintos atores, desde os órgãos públicos gestores e entidades da sociedade civil até os usuários finais da água (Azevedo *et al.*, 2003).

Além da complexidade de implementação e administração, alguns aspectos que norteiam o processo de outorga de uso dos recursos hídricos são bastante questionáveis. Dentre eles destacam-se as metodologias utilizadas para determinação da vazão máxima outorgável. As metodologias encontradas na literatura são, em geral, baseadas em dois princípios: vazão referencial (onde são estabelecidos percentuais de uma vazão pré-fixada, obtida através de séries históricas, para serem disponibilizados para outorga) e quantidade de falhas pré-determinadas (neste caso, ao invés de fixar uma vazão de referência, é fixada a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade). Se, por um lado, as metodologias baseadas em vazão referencial aumentam a confiabilidade de atendimento, pois diminuem a ocorrência de falhas, por outro, tendem a limitar o crescimento dos sistemas de uso da água, pois, em grande parte do tempo, as vazões ocorridas superam a vazão de referência. Já as baseadas em falhas pré-determinadas visam aumentar a quantidade de água disponível para outorga. No entanto, envolvem um grau mais elevado de complexidade, pois requerem melhores condições de aparelhamento do sistema de gerenciamento de recursos hídricos e fiscalização freqüente de pontos de controle. Além disso, em regiões semi-áridas (onde está inserido grande parte do estado da Paraíba), a questão da confiabilidade de atendimento torna-se um ponto bastante relevante, pois a falta de recurso hídrico por alguns

meses pode implicar em situações de grandes prejuízos econômicos e sociais. Nota-se, portanto, que ainda não existe nenhuma metodologia consagrada que possa ser utilizada unanimemente em todos os sistemas hídricos, principalmente porque cada sistema possui suas próprias particularidades, e a escolha de uma metodologia depende, entre outros fatores, das características da região, sejam elas físicas, econômicas ou sociais.

Particularmente para a Bacia do Rio Piancó, alvo deste estudo, situada no sertão Paraibano, onde se localiza a maior reserva hídrica do estado, composta pelo sistema Coremas - Mãe D'Água, com acumulação máxima de aproximadamente 1,4 bilhões de metros cúbicos (Ver Figuras 4.1 e 4.2, Cap. 4) , o processo de outorga torna-se bastante complexo: até final do ano de 2004, o domínio das águas era um dos graves conflitos enfrentados na bacia, visto que a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água os rios, riachos e reservatórios eram considerados de domínio estadual, por estarem totalmente localizados em território paraibano. O sistema Coremas-Mãe D'Água, construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), órgão federal, era de domínio da federação. A jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água, até a chegada ao Rio Piranhas, o domínio voltava a ser do estado e, a partir do Rio Piranhas, que corta os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, novamente o domínio voltava a ser da união. Logo, a emissão de outorgas era realizada parte pela esfera federal, parte pela esfera estadual. Essas variações de domínio dificultavam o gerenciamento da bacia, visto que diferentes interesses estavam envolvidos no processo. Porém, a Resolução nº 687 de 03 de dezembro de 2004, proposta pela Agência Nacional de Águas (ANA), foi elaborada com o intuito de solucionar o problema. Essa resolução dispôs sobre o Marco Regulatório para a gestão do Sistema Coremas-Açu e estabeleceu parâmetros e condições para a emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos e declaração de uso insignificante (usos que não necessitam de outorga).

Além da questão de domínio das águas, aparentemente solucionada pelo Marco Regulatório, outros graves conflitos são enfrentados na bacia. Segundo Lima (2004), a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, existe um conflito de atendimento entre demandas de abastecimento e irrigação. Inicialmente, quando os perímetros irrigados estavam sendo implantados, os reservatórios tinham apenas esta finalidade de uso. No entanto, com o passar do tempo, novos usos foram sendo incorporados aos reservatórios, principalmente demandas de abastecimento que, por lei, são prioritárias, aumentando, assim, os riscos de falhas de atendimento às demandas de irrigação.



Ainda relacionada com a parte montante do sistema, existem dois perímetros irrigados implantados pelo governo, totalizando uma área de 2.500 ha, que dependem da liberação de água de reservatórios situados a montante do Rio Piancó. O uso da água para os perímetros irrigados tem gerado conflitos entre os irrigantes e a população abastecida pelos reservatórios, que temem um colapso hídrico do sistema (Lima, 2004).

A jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água também existem grandes conflitos, um deles está relacionado com a vazão a ser liberada pelos reservatórios, para suprir as demandas de abastecimento, irrigação, piscicultura e a uma demanda de 1,5 m<sup>3</sup>/s requerida pelo Estado do Rio Grande do Norte. Outro conflito é a questão da demanda hídrica disponibilizada para uso na irrigação do perímetro Várzeas de Souza (5.000 ha). É necessária uma vazão de 4,0 m<sup>3</sup>/s saída do reservatório Mãe D'Água e conduzida através do Canal da Redenção até o perímetro irrigado. A população da região reivindica priorização dessa demanda (Lima, 2004).

Diante do exposto, alguns questionamentos são levantados neste estudo:

- A metodologia utilizada atualmente pelos órgãos responsáveis para determinação da vazão máxima outorgável na Bacia do Piancó é a mais adequada?
- É possível a concessão de novas outorgas, e até mesmo a renovação das outorgas atuais, sem que haja comprometimento do sistema formado pelos reservatórios da bacia?
- A análise para concessão das outorgas tem sido realizada de forma correta respeitando as particularidades da bacia?
- Caso fosse realizada a transposição de 10,0 m<sup>3</sup>/s do Rio São Francisco, através do Sistema Coremas-Mãe D'Água, como a princípio estava previsto para a bacia, que efeitos esse procedimento teria dentro do processo de outorga?

A pesquisa aqui apresentada tem o intuito de responder esses e outros questionamentos através do estudo do processo de outorga na Bacia do Rio Piancó, levando em consideração as necessidades de seus diversos usuários e a capacidade de oferta e renovação de suas fontes naturais.



**Capítulo II**  
**Relevância, Contribuições e**  
**Objetivos**

## **2 RELEVÂNCIA, CONTRIBUIÇÕES E OBJETIVOS**

### **2.1 RELEVÂNCIA DO ESTUDO**

O crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade a uma taxa superior à da renovabilidade do ciclo hidrológico é consensualmente previsto nos meios técnicos e científicos internacionais. Esse crescimento tende a se tornar uma das maiores pressões antrópicas sobre os recursos naturais do planeta neste século (Freitas e Santos, 1999).

Estima-se que, atualmente, mais de um bilhão de pessoas vivem em condições insuficientes de disponibilidade de água para consumo doméstico e que, em 30 anos, cerca de 5,5 bilhões de pessoas estarão vivendo em áreas com moderada ou séria falta de água (Population Reference Bureau, 1997). Portanto, pesquisas sobre a água e propostas para melhorar o seu gerenciamento são de grande interesse tanto para os governos como para a população em geral.

O Brasil possui uma situação privilegiada em relação à sua disponibilidade hídrica, porém mais de 70% da água doce do país encontra-se na região Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população (SIH, ANEEL, 1999). No nordeste brasileiro, especialmente nas regiões semi-áridas, os níveis de precipitação abaixo da média, bem como sua irregular distribuição (concentrada em poucos meses do ano), contribuem bastante para o agravamento dos efeitos das secas.

O território paraibano encontra-se quase totalmente inserido numa região semi-árida onde as chuvas chegam, muitas vezes, a apenas 300 milímetros anuais na região do Cariri. A maior fonte de água existente no Estado é a Bacia do Rio Piancó situada no Sertão da Paraíba (região semi-árida) e sua reserva hídrica, formada principalmente pelos reservatórios Coremas e Mãe D'Água atende a diversos usos tais como: abastecimento humano, irrigação, geração de energia elétrica e perenização do Rio Piancó, por onde é liberada uma vazão para atender algumas demandas do Estado do Rio Grande do Norte. O sistema possui sérios conflitos de uso com difícil resolução (já mencionados no Cap. 1), que tornam o processo de outorga bastante complexo. Portanto é imprescindível a necessidade de uma reavaliação do processo de outorga já existente na bacia, visando a um maior controle das demandas em função da oferta.

Segundo Ramos (2005), para a implantação da outorga em bacias hidrográficas, faz-se necessário definir critérios e estabelecer um mecanismo, ou adotar uma ferramenta que

permita tanto a agilidade do processo como também a sua transparência, de maneira a não suscitar conflitos entre os distintos usuários. A proposta principal desta tese é exatamente apresentar um novo modelo de outorga, baseado em processos de otimização para sub-bacias controladas por reservatórios (caso da Bacia do Rio Piancó), com a finalidade de avaliar as disponibilidades hídricas do sistema, minimizando os conflitos de uso existentes e futuros.

## **2.2 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA**

O desenvolvimento de novas metodologias no contexto do gerenciamento de recursos hídricos é de interesse tanto científico quanto prático. Partindo deste pressuposto, buscou-se, neste estudo, investigar caminhos que levem a uma melhoria no processo de outorga na Bacia do Rio Piancó que possui parte de sua área controlada por reservatórios.

Para isso, foi elaborado um modelo linear de otimização que é diferenciado, pois analisa a possibilidade de concessão ou não de vazão para outorga a partir das sub-bacias de contribuições individuais de cada reservatório do sistema e considera tanto pedidos de outorgas com vazões constantes (usualmente utilizada) quanto variáveis mês a mês (inovação). Esta metodologia possibilita, assim, um melhor uso da capacidade dos reservatórios e aumenta a liberdade de transferência intra e inter-anual de água para o atendimento a novas demandas, enquanto otimiza o uso de suas disponibilidades hídricas. O modelo realiza, também, o estudo da garantia de atendimento de uma dada demanda e permite efetuar a outorga segundo uma priorização de atendimento.

Por ser um modelo com entrada de dados aberta ao usuário, nada impede que seja utilizado, com sucesso, em outras bacias, cujas características sejam semelhantes as da Bacia do Rio Piancó, podendo o seu resultado ser aproveitado para apoiar a realização de novas pesquisas.

## **2.3 OBJETIVOS**

### **2.3.1 GERAL**

Desenvolver uma metodologia de apoio à outorga dos direitos de uso da água, em bacias hidrográficas controladas por reservatórios e que apresentem elevado índice de

demanda/oferta ou conflitos de uso de recursos hídricos, tendo como base um modelo linear de otimização.

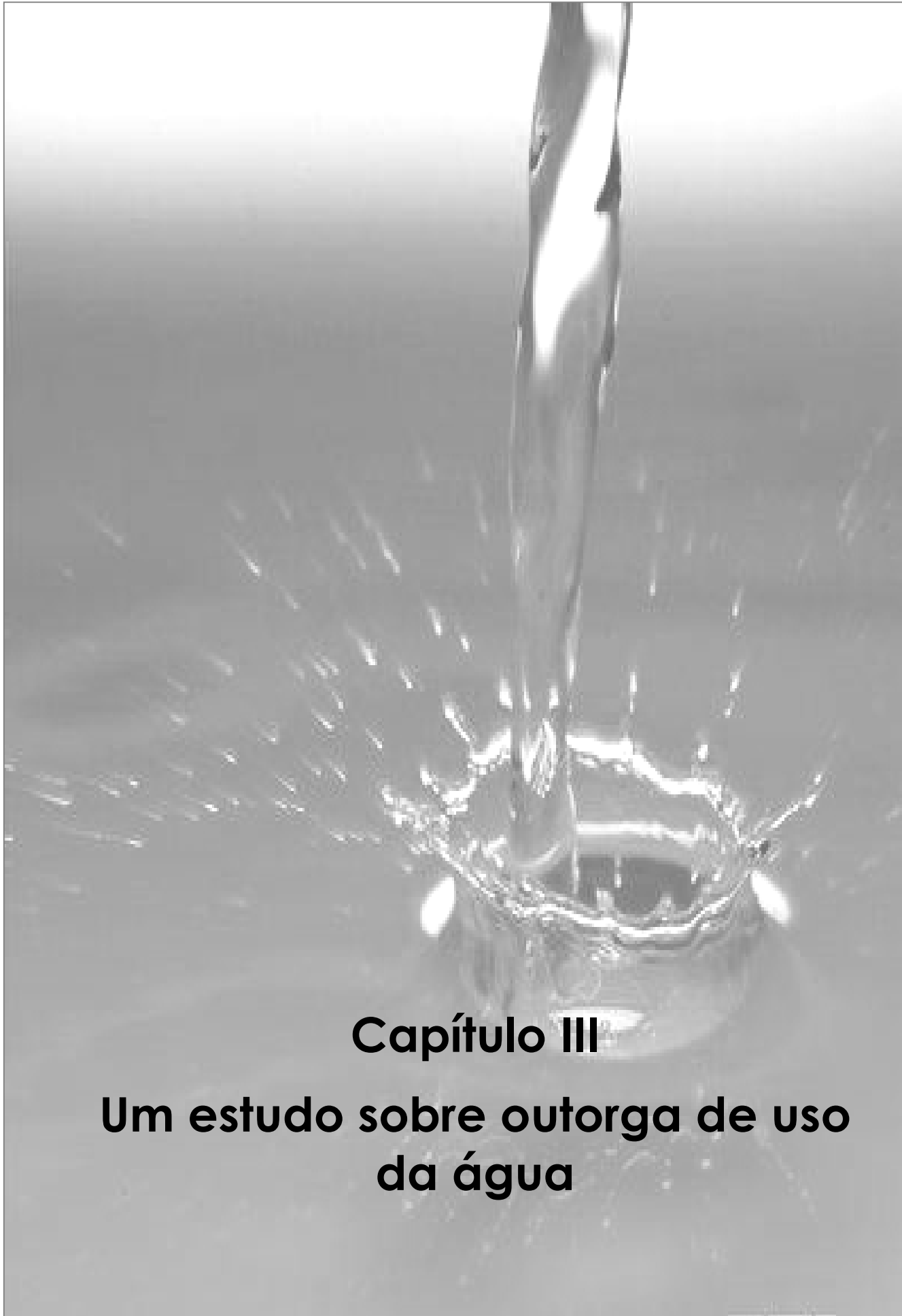
### 2.3.2 ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos deste estudo podem-se citar como principais:

- determinar pontos de controle de vazão, ao longo da Bacia do Rio Piancó, para análise da vazão disponível para outorga;
- fazer um levantamento dos pedidos de outorga atualmente concedidos para os diversos usos na Bacia do Rio Piancó, considerando as demandas do Sistema Coremas-Mãe D'Água, a montante e a jusante;
- analisar diferentes cenários, através da utilização de sub-bacias de contribuições de cada reservatório isoladamente; possíveis transferências de água entre reservatórios interligados em série (com vistas ao aumento de outorgas, para demandas vinculadas a reservatórios de jusante, denominada aqui como 'transferência de outorgas'); e possíveis contribuições de reservatórios paralelos mais próximos (transferência de outorga);
- avaliar, em todos os cenários, as prioridades e garantias de atendimento às demandas requeridas, tendo como base os pedidos de outorga na bacia e considerando as normas estabelecidas pelo Decreto Estadual nº 19.260/97, que regulamenta a outorga na Paraíba;
- analisar, para o cenário com reservatórios isolados, o comportamento ao longo do tempo, através de algumas situações distintas:
  - ✓ demanda hídrica atual, considerando os pedidos de outorga atualmente concedidos, tanto no Sistema Coremas-Mãe D'Água quanto a montante e jusante ;
  - ✓ demanda hídrica futura, através da projeção das demandas atuais, para dois horizontes de planejamento, representados pelos anos 2017 e 2027;
  - ✓ demanda hídrica com gerenciamento alternativo, através da análise da influência, sobre o atendimento aos pedidos de outorga no Sistema Coremas-Mãe D'Água e a

jusante, gerada pelo acréscimo de uma vazão de 10,0 m<sup>3</sup>/s, caso fosse realizada a transposição do Rio São Francisco, para a Bacia do Rio Piancó;

- ✓ modificações de demandas hídricas, a partir da redução de alguns pedidos de outorga, e análise da influências dessas reduções sobre o atendimento as demandas do sistema Coremas-Mãe D'Água e a jusante;
- Averiguar, para os cenários com reservatórios interligados em série e em paralelos mais próximos, o comportamento hídrico do sistema ao longo do tempo, a partir da:
  - ✓ identificação dos reservatórios que têm crédito ou déficit de água;
  - ✓ quantificação da vazão que poderá ser disponibilizada nos reservatórios com crédito e da vazão requerida nos reservatórios com déficit para suprir as falhas de atendimento;
  - ✓ avaliação do atendimento as demandas da bacia quando considerados os vertimentos dos reservatórios;
  - ✓ avaliação da influência da redução de algumas demandas sobre o potencial de atendimento às demais demandas do Sistema Coremas-Mãe D'Água.



## **Capítulo III**

**Um estudo sobre outorga de uso  
da água**

### 3 UM ESTUDO SOBRE OUTORGA DE USO DA ÁGUA

O estágio da apropriação dos recursos hídricos no Brasil atingiu um nível em que conflitos de uso são fartamente detectados, desde as regiões mais desenvolvidas até as mais carentes. Além daqueles relacionados com a qualidade da água, notados nas bacias urbanizadas e industrializadas, há existência também de conflitos quantitativos. Suas soluções exigem o planejamento e gerenciamento prévios, visando a avaliação prospectiva das demandas e das disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios (Setti, 2001). Logo, a gestão de água tem por objetivo final promover o uso, controle e proteção dos recursos hídricos.

Para contribuir com a gestão dos recursos hídricos, muitos países, inclusive o Brasil, utilizam como importante instrumento a outorga do direito de uso da água. Segundo Pires (1996), somente através da outorga pode-se alcançar quase todos os objetivos fundamentais e específicos do gerenciamento. Embora seja um instrumento regulatório, a outorga tem o poder de aplicar, dentro de si, outros instrumentos como, por exemplo, o econômico, através da cobrança pela outorga e o zoneamento de regiões de proteção permanente, onde quase ou nenhum tipo de uso pode ser outorgado.

Portanto, tendo em vista a importância e singularidade da outorga de uso da água este capítulo será dedicado ao estudo desse instrumento de gestão.

#### 3.1 OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA

Define-se outorga como sendo o ato de conceder, aprovar ou consentir o direito de uso dos recursos hídricos a entes públicos ou privados por períodos pré-estabelecidos.

Alguns autores (Dellapenna, 1994 *apud* Pires, 1996; Ribeiro, 2000) apontam basicamente três sistemas mundiais de outorga: outorga vinculada à terra, também conhecida como ripária, em que a outorga é informalmente e livremente concedida aos proprietários das terras onde estão localizados os recursos hídricos, sendo negociada junto com a negociação da terra e adquire características de bem privado; outorga comercializável, em que o uso da água independe da terra podendo ser comercializada, isto é vendida, trocada ou alugada dentro de um mercado livre de outorga de águas; e a outorga controlada, que é concedida mediante à análise do tipo de uso que o usuário faz do recurso, sob uma ótica ampla, baseada não



somente em aspectos econômicos, mas também técnicos, sociais e ambientais, de forma integrada com uma instituição reguladora.

As formas de outorga variam de acordo com a localidade. A seguir, são mostrados alguns sistemas de outorga adotados em diferentes países.

### **3.2 SISTEMAS DE OUTORGA NO CENÁRIO INTERNACIONAL**

Neste item é feita uma abordagem sucinta do funcionamento dos sistemas de outorga nos Estados Unidos e em alguns países da Europa e América Latina, com o objetivo de possibilitar uma visão sobre as semelhanças e diferenças entre eles e em relação ao Brasil.

#### **3.2.1 ESTADOS UNIDOS**

Geralmente, nos Estados Unidos, os direitos de uso dos cursos d'água são baseados em duas doutrinas: a doutrina ripária e a doutrina de apropriação precedente (Wurbs e Walls, 1989). Na doutrina ripária, como já foi dito anteriormente, os direitos da água são dados ao proprietário das terras adjacentes ao curso d'água. A doutrina de apropriação precedente é baseada na concepção de que o direito pertence ao primeiro utilizador do recurso hídrico, ou seja, quem primeiro se apropriar do curso d'água (*First came first served*). Portanto, no sistema de apropriação precedente os direitos da água não são inerentes ao proprietário da terra e as prioridades são estabelecidas pela data em que o primeiro usuário fez uso da água em seu benefício (Wurbs, 1995).

Os direitos ripários são de duração indefinida e não são perdidos pelo não uso do recurso, embora estes possam ser perdidos através de prescrição. A prescrição é um processo de transferência involuntária de uma parte para outra (Cox, 1995). No caso da prescrição, se uma determinada pessoa possuir um curso d'água em sua propriedade e este curso for utilizado por outro usuário por um período de tempo regular (normalmente 20 anos) sem reclamação do dono da propriedade, o usuário do recurso hídrico ganha o direito por essa água. Semelhante ao que no Brasil é conhecido como “*uso capião*”.

A doutrina de apropriação precedente, igualmente à ripária, também concede duração indefinida pelos direitos da água. Desde que estabelecido, o direito não tem data de expiração e o poder público não possui meios para reaver esse recurso. A apropriação dos direitos tem duração indefinida, no entanto é exigido a manutenção contínua e a aplicação da água para

um uso benéfico. O não uso pode resultar em perda dos direitos da água, desapropriação do recurso e retorno da água para o controle do Estado (Cox, 1995).

Alguns autores criticam as doutrinas riparianas e de apropriação precedente. Koch (1996) *apud* Arnéz (2002) considera esses sistemas arcaicos e afirma que só são possíveis em regiões com abundância de água e para Carrera-Fernandes (2002), essas doutrinas não promovem incentivos para a economia de água.

Segundo Wurbs (1995), a distribuição espacial das doutrinas por Estado nos EUA é a seguinte: a lei das águas em 29 estados do leste é baseada na doutrina ripária. Dez outros estados do oeste, que originalmente seguiam a doutrina ripária, posteriormente converteram os direitos das águas para um sistema de apropriação. Outros dois estados possuem sistemas com doutrinas diferenciadas.

### **3.2.2 ESPANHA**

Nos países da Europa, a água superficial é um bem público, sendo o seu direito de uso outorgado por agências públicas/autoridades de bacia (Ballesterro, 2004).

De acordo com Ramos (2005), na Espanha, o encaminhamento, ao governo, do plano de gerenciamento de recursos hídricos das bacias hidrográficas, considerando questões de interesse geral da bacia, bem como aquelas relacionadas à ordenação, exploração e tutela dos recursos hídricos é de responsabilidade dos Conselhos de Água. Os planos de bacia hidrográfica são compatibilizados com o plano hidrológico nacional. O planejamento hídrico tem como objetivos principais alcançar uma melhor satisfação das demandas de água, equilibrar e harmonizar o desenvolvimento regional e setorial aumentando a disponibilidade dos recursos hídricos, protegendo sua qualidade, e economizando seus usos em harmonia como o meio ambiente.

### **3.2.3 FRANÇA**

Hubert *et al.* (2002) afirmam que na França, a nova lei das águas, criada em 1992, vinte e oito anos após a lei original, orienta o planejamento do domínio dos recursos hídricos. Ele é executado através de dois instrumentos complementares, cujas principais características são permitir a implementação da gestão dos recursos das águas e coordenar as ações entre os diferentes níveis territoriais. De acordo com Cruz (2001), três tipos de análises do direito de

uso da água são considerados no país: águas particulares, que possibilitam o direito de uso total dentro da propriedade da terra; águas comuns, que se referem aos rios de pequeno porte, cujas margens são de proprietários ribeirinhos, e as águas públicas, que têm o seu uso condicionado à outorga concedida pelo governo.

### **3.2.4 PORTUGAL**

Em 1990, foi iniciada em Portugal, de acordo com o que expõe Serra (2002), uma reforma administrativa no setor das águas, através da aprovação do Decreto-Lei n.º 70, que dissertava sobre o regime de bens de domínio público. Nesse decreto, a água em Portugal passa a ser encarada “como fator de produção e como recurso estruturante de desenvolvimento, visto que seu planejamento e gestão são orientados numa perspectiva de racionalidade econômica, enquadrada pela necessidade de garantia de uma disponibilidade adequada, tanto de quantidade como de qualidade”. Mais tarde, em fevereiro de 1994, o governo criou um pacote adicional à legislação, melhorando a estrutura de planejamento de água em bacias e reforçando algumas ferramentas. Nesse pacote, composto de três decretos-leis (Decretos-Leis nº 45, 46 e 47), é abordada a questão da outorga de uso da água. De acordo com os decretos-leis, treze tipos de uso de água requerem licença: extração de água, descarga de efluentes, todos os tipos de estruturas hidráulicas, trabalho de limpeza de cursos de água e rios, exploração de cascalhos e areias, alguns tipos de construções, recreação, piscicultura, navegação, estruturas flutuantes, produção de sal, lugares de estacionamento, acesso a estradas e plantação ou cultivo de árvores. Essas licenças são dadas em nível nacional pelo Instituto Nacional de Água (INAG), e, em nível regional, pelas Direções Regionais de Ambiente e Recursos Naturais (DRARN).

### **3.2.5 HOLANDA**

Na Holanda, as outorgas ou permissões são dadas pelas províncias, que também determinam valores limites diferenciados para requerimentos de retiradas de água. Ou seja, os valores limites variam de província para província. As permissões são dadas para poluição de água superficial, uso de água subterrânea, e uso de água superficial. Com relação à outorga de água subterrânea essa é, em algumas partes da Holanda, problemática, principalmente quando o uso dessa água causa efeitos negativos sobre a natureza (Mostert, 1999). Ainda segundo o autor, uma permissão só é requerida se o uso puder influenciar o nível da água, os fluxos

subterrâneo e superficial ou para necessidades especiais de medidas de gerenciamento. As outorgas para uso, tanto de água subterrânea como superficial, podem ser modificadas ou anuladas, quando não forem utilizadas por mais de quatro anos, a pedido do requerente da outorga, se o detentor da outorga declarar que não utiliza toda a água alocada, se o detentor der falsas informações sobre a aplicação do recurso hídrico, ou em caso de novos fatos que tornem a outorga irregular.

### **3.2.6 AUSTRÁLIA**

Historicamente a política que governava a alocação de água na Austrália não promovia o uso eficiente desse recurso. O objetivo era estimular a colonização de áreas rurais e a promoção de culturas para pequenas famílias. Pouca atenção era dada a projetos no intuito de assegurar que esses fossem economicamente viáveis. A disponibilidade de água era basicamente para irrigantes. A água era alocada por Estados, facilitando o abastecimento das regiões irrigadas e as comunidades rurais podiam comandar seu abastecimento livremente. Dentro das regiões irrigadas, a água seria alocada individualmente baseada no número de hectares de terra possuída. Atualmente, a água é disponibilizada através de sistemas de outorgas, licenças e permissões. As outorgas são concedidas para usos públicos. As licenças são normalmente associadas a rios perenes e são tipicamente concedidas por períodos de 15 anos. As permissões são dadas sobre rios intermitentes e devem ser renovadas anualmente. Contudo, as primeiras outorgas, licenças ou permissões são obtidas através de leilões, ou seja, a água pode ser negociada tendo as outorgas, licenças e permissões características comerciais (Simon e Anderson, 1990). Segundo Lee e Jouravlev (1998), os direitos de água na Austrália definem-se em função de uma fração da vazão disponível no curso da água ou do volume de água disponível em um reservatório.

### **3.2.7 CHILE**

No Chile, o sistema de outorga é comercializável, como na Austrália. Tradicionalmente a primeira outorga é baseada em uso histórico e são respeitadas as captações realizadas pelos usuários mais antigos (Bauer, 1997 *apud* Ribeiro, 2000). Neste caso, os usuários mais antigos devem comprovar que já utilizavam a água para requerer o direito sobre ela. Para os candidatos ao recebimento do direito de utilização da água, que ainda não possuem atividades consumidoras do recurso, basta demonstrar a existência de

projetos para implantação de empreendimento que necessite da utilização de água. Possivelmente esse mecanismo de alocação inicial dos direitos de uso da água possui menor custo de implantação. No entanto, este sistema pressupõe a existência de registros históricos de uso reconhecidos oficialmente. Além disso, devem ser tomadas algumas providências para que seja evitada a emissão de direitos de uso da água a candidatos que não possuam reais intenções de sua utilização, para evitar formação de grupos que adquirem um grande número de licenças para posteriormente especular no mercado (Lee e Jouravlev, 1998; Arnéz, 2002).

Diante do abordado, pôde-se observar que alguns países do cenário mundial trabalham com a outorga controlada como instrumentos de gestão, tendo uma política voltada para a descentralização, a exemplo da França, Espanha, Holanda, Portugal e também do Brasil (analisado a seguir). Outros como o Chile e a Austrália adotam o sistema de outorga mercantil pelo qual a água é tratada como um bem livremente comercializável. Segundo Ribeiro (2000), no caso de um mercado em concorrência perfeita, essa modalidade de outorga apresenta-se como a mais eficiente. Há ainda aqueles países (ex.: Estados Unidos) que consideram o recurso hídrico como propriedade privada e pertencente ao dono das terras onde estão localizados os cursos d'água ou a quem primeiro utilizou o manancial. Para este último caso, existe uma tendência de substituição dessa forma de outorga por outras modalidades consideradas mais eficientes (Koch, 1996 *apud* Arnéz, 2002).

### **3.3 A OUTORGA DE USO DA ÁGUA NO BRASIL**

#### **3.3.1 A LEGISLAÇÃO FEDERAL**

##### **3.3.1.1 A LEI 9.433/97**

A Política Nacional e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos foram instituídos pela Lei Federal 9.433, criada no Brasil em 1997. A Lei 9.433 regulamenta o inciso XIX do Artigo 21 da Constituição Federal que afirma: “*competete à União: instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direito de seu uso*”. Em seu 4º Capítulo (Artigo 5º), a Lei 9.433/97 descreve como instrumentos: I – Os planos de Recursos Hídricos; II – O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; **III – A outorga de direito de uso dos recursos hídricos** (grifo nosso); IV – A cobrança pelo uso dos recursos hídricos; V – A

compensação a municípios e VI – O Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos. Entre os seis instrumentos previstos na Política Nacional, pode-se destacar a outorga de direito de uso da água como uma das ferramentas de suporte à gestão e ao gerenciamento de recursos hídricos.

O regime de outorga do direito de uso da água tem grande importância para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois objetiva assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (Artigo 11 da Lei Federal 9.433/97). Essa importância é percebida na Lei 9.433 através do grande número de artigos que dispõem sobre o referido instrumento (do Artigo 11, acima mencionado, até o Artigo 18). O Quadro 3.1 descreve algumas considerações apresentadas pela Lei. No Artigo 12 são discriminados todos os usos sujeitos à outorga no Brasil, sendo incluídos não somente as águas superficiais, mas também as águas subterrâneas, levando em consideração seus aspectos quantitativos e qualitativos (outorga para diluição, transporte e disposição final de efluentes). Os usos que independem de outorga também são mencionados neste artigo (Parágrafo 1º) levando em consideração a questão quantitativa, ou seja, são isentos de outorga apenas aqueles usos que requerem quantidades insignificantes do recurso. O Artigo 13 condiciona a outorga às prioridades de uso da água e ao enquadramento dos corpos hídricos. A efetivação das outorgas é abordada no Artigo 14. As circunstâncias que levam à suspensão de outorga, incluindo situações de emergência como situação de calamidade e reversão de degradação ambiental grave, são descritas no Artigo 15. O Artigo 16 da referida Lei estipula um prazo de duração para a outorga concedida e no Artigo 18 é esclarecido que a outorga não dá o direito de alienação do recurso hídrico, apenas o direito de seu uso.

**Quadro 3.1** – Considerações apresentadas pela Lei 9.433 sobre outorga de uso da água

<b>Artigo 12</b>	
Usos sujeitos à outorga	I – derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, incluindo abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
	II – extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
	III – lançamento em corpos d’água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
	IV – aproveitamento de potenciais hidrelétricos;
	V – outros usos que alterem o regime, a qualidade ou a quantidade da água existente em um corpo de água;

Usos independentes de outorga	I – o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
	II – derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
	III – acumulações de volumes de água considerados insignificantes.
<b>Artigo 13</b>	
Condiciona-mento da outorga	A outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando necessário.
	A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo destes.
<b>Artigo 14</b>	
Competência para outorgar	A outorga efetivar-se-á por ato de autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal.
	O poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal, competência para conceder outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União.
<b>Artigo 15</b>	
Circunstâncias que levam à suspensão de outorga	I – não cumprimento do outorgado dos termos de outorga;
	II – ausência de uso por três anos consecutivos;
	III – necessidade premente de água para atender as situações de calamidade, incluindo as decorrentes de condições climáticas adversas;
	IV – necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental;
	V – necessidade de se atender os usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se dispunha de fontes alternativas;
	VI – necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água.
<b>Artigo 16</b>	
Duração da outorga	Toda outorga de direito de uso de recurso hídrico far-se-á por prazo não excedente a trinta e cinco anos, renovável.
<b>Artigo 18</b>	
Alienação das águas	A outorga não implica a alienação de uso parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso.

A Lei 9.433 estabelece, como princípios básicos aplicáveis à outorga: a gestão participativa e descentralizada, a gestão por bacia hidrográfica, o controle pelo setor público e a gestão conjunta dos aspectos qualitativos e quantitativos. Inicialmente, a lei dá a efetivação do ato de outorga ao poder público, porém, por ser considerada uma gestão participativa e descentralizada, as decisões devem ser compartilhadas com os comitês de bacia e estabelecidas prioridades de uso nos planos de recursos hídricos (Kettelhut *et al.*, 1999).

### **3.3.1.2 O PROJETO DE LEI 1.616/99**

Ainda no âmbito federal, o Projeto de Lei nº 1.616, em tramitação no Congresso Nacional desde 1999, vem complementar a Lei 9.433/97. Dentre outras providências, esse projeto de lei dispõe sobre a gestão administrativa e a organização institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos criado pela Lei 9.433/97. A sistemática de outorga do direito de uso de recursos hídricos é abordada no Capítulo II do referido projeto.

Dentre os acréscimos propostos pelo projeto de lei está o Artigo 8º, que cria a outorga preventiva com a finalidade exclusiva de declarar a disponibilidade hídrica para o uso requerido ou para permitir a perfuração de poço profundo para exploração de águas subterrâneas. Fica esclarecido, porém, no Parágrafo 1º, que a outorga preventiva não confere direito de uso de recursos hídricos e se destina a reservar a vazão passível de outorga, a fim de possibilitar ao investidor planejar o empreendimento que necessita de recursos hídricos ou providenciar a perfuração do poço profundo.

No Artigo 9º do referido projeto, além dos 35 anos para vigência de outorga de direito de uso da água, previstos no Artigo 16 da Lei 9.433, são propostos até seis meses para início da implantação do empreendimento objeto da outorga, e até cinco anos para conclusão da implantação do empreendimento projetado, prazos esses fixados pelo poder outorgante em função da natureza e do porte do empreendimento.

Com relação a suspensão da outorga prevista no Artigo 15 da Lei 9.433, o projeto de lei propõe (Artigo 11) que esta suspensão seja feita ainda nas seguintes situações: i) não-pagamento, nos prazos estabelecidos, dos valores fixados pelo uso de recursos hídricos; ii) no caso de ser instituído regime de racionamento de recursos hídricos e; iii) decorridos doze meses da transferência de titularidade do empreendimento que utiliza recursos hídricos, sem que os novos titulares tenham pedido a regularização da respectiva outorga.

Outro importante acréscimo sugerido à Lei 9.433 está no Artigo 13, que trata da outorga para lançamento de efluentes nos corpos d'água. Este artigo esclarece que, aos usuários de recursos hídricos para lançamento de efluentes diluíveis, a outorga para derivação ou captação de água ficará condicionada à existência ou à concomitante outorga para lançamento de esgotos e demais resíduos líquidos. Ainda no Artigo 13, Parágrafo 1º, é abordado que, para fins de lançamento de efluentes, a vazão de diluição será fixada de forma compatível com a carga poluente, podendo variar ao longo do prazo da duração da outorga,



em função da concentração máxima de cada indicador de poluição estabelecida pelo Comitê de Bacia Hidrográfica ou, na falta deste, pelo poder outorgante.

O Artigo 16 traz a variabilidade das outorgas. De acordo com esse artigo, a vazão passível de outorga poderá variar sazonalmente, em função das características hidrológicas.

A outorga de uso da água para geração de energia elétrica está prevista no Artigo 18. Este artigo sugere que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) deverá obter declaração de reserva de disponibilidade hídrica, antes de licitar a concessão ou autorizar o uso de potencial de energia hidráulica: i) ao órgão ou à entidade federal incumbida da coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), quando se tratar de recurso hídrico de domínio da União ou ii) ao órgão ou à entidade estadual ou distrital competente, quando se tratar de recurso hídrico de domínio dos Estados.

A despeito de encontrar-se ainda em tramitação, o Projeto de Lei 1.616/99 constitui um documento relevante, pois esclarece e acrescenta importantes pontos aos artigos que tratam da outorga de uso da água previstos na Lei 9.433/97.

### **3.3.1.3 A LEI 9.984/2000**

Dentro da legislação em esfera nacional, também merece lugar de destaque a Lei 9.984, de 17 de julho de 2000. Esta lei tem como objetivo a criação da ANA, entidade federal destinada a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Cabe à ANA, dentre outras funções, outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio da União (Artigo 4º, Inciso IV).

Os prazos limites para outorgas são descritos no Artigo 5º da Lei 9.984 e considera: i) até dois anos, para início da implantação do empreendimento objeto da outorga; ii) até seis anos, para conclusão da implantação do empreendimento projetado; e iii) até trinta e cinco anos, para vigência da outorga de direito de uso. Este artigo traz um aumento de prazo em relação ao proposto no Artigo 9º do Projeto de Lei 1.616. E, igualmente ao sugerido no referido projeto, também na Lei 9.984 os prazos de vigência das outorgas de direito de uso de recursos hídricos serão fixados em função da natureza e do porte do empreendimento, levando-se em consideração, quando for o caso, o período de retorno do investimento.

Ainda na Lei 9.984, é disciplinado, no Artigo 6º, que a ANA poderá emitir outorga preventiva de uso de recursos hídricos, outorga esta constante no Projeto de Lei 1.616 (Artigo 8º).

No tocante à produção de energia elétrica, a Lei 9.984 esclarece que, para licitar a concessão ou autorizar o uso de potencial de energia hidráulica em corpo de água de domínio da União, a ANEEL deverá promover, junto à ANA, a prévia obtenção de declaração de reserva de disponibilidade hídrica, salvo quando o potencial hidráulico localizar-se em corpo de água de domínio dos Estados ou do Distrito Federal. Neste caso, a declaração de reserva de disponibilidade hídrica será obtida em articulação com a respectiva entidade gestora de recursos hídricos. A Lei ainda afirma que a declaração de reserva de disponibilidade hídrica será transformada automaticamente pelo respectivo poder outorgante, em outorga de direito de uso de recursos hídricos.

### **3.3.1.4 RESOLUÇÕES DO CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS**

O sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos criado através da Lei 9.433/97 definiu como um dos seus órgãos integrantes o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Uma das competências do CNRH é estabelecer critérios gerais para outorga de direito de uso de recursos hídricos (Artigo 35, Inciso X). Até 02 de julho de 2006, sessenta e uma resoluções do CNRH haviam sido aprovadas. Porém, apenas três delas foram consideradas relevantes para este estudo, por tratar diretamente da outorga de uso da água.

- **Resolução CNRH 16/2001**

De uma maneira geral, a resolução CNRH nº 16, de 8 de maio de 2001, regulamenta os procedimentos gerais de outorga a serem adotados pelas autoridades outorgantes do país (ANA, 2005). Os principais acréscimos da resolução às Leis 9.433/97 e 9.984/00 são descritos a seguir.

A Resolução CNRH nº 16 condiciona a outorga à disponibilidade hídrica e ao regime de racionamento, ficando o outorgado sujeito à suspensão da outorga. Além disso, visando a gestão integrada dos Recursos Hídricos, a análise dos pleitos de outorga deverá considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico (Artigo 1º, Parágrafos 2º e 4º).

A resolução trata, no Artigo 2º, da transferência do ato de outorga a terceiros devendo este conservar as mesmas características e condições da outorga original e, no Artigo 8º, dos prazos máximos de análise de procedimentos de outorga preventiva e de outorga de direito de uso, devendo estes serem estabelecidos mediante as peculiaridades das atividades ou empreendimentos.

O Artigo 12 afirma que, dentro dos planos de recursos hídricos, a outorga deve dispensar atenção especial para as prioridades de uso estabelecidas; a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, em consonância com a legislação ambiental; a preservação dos usos múltiplos previstos; e a manutenção das condições adequadas ao transporte aquaviário, quando couber. Acrescenta ainda que as vazões e os volumes outorgados poderão ficar indisponíveis, total ou parcialmente, para outros usos no corpo de água, considerando o balanço hídrico e a capacidade de autodepuração para o caso de diluição de efluentes e a vazão de diluição poderá ser destinada a outros usos no corpo de água, desde que não agregue carga poluente adicional.

Com relação à prioridade de emissão de outorga, a resolução considera primeiramente o interesse público, seguindo da data da protocolização do requerimento, ressalvada a complexidade de análise do uso ou interferência pleiteados e a necessidade de complementação de informações.

O Artigo 15 estabelece que a outorga de direito de uso da água para o lançamento de efluentes será dada em quantidade de água necessária para a diluição da carga 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.

A Resolução nº 16 traz também as informações mínimas necessárias para o requerimento de outorga de uso de recursos hídricos superficiais, subterrâneos e lançamentos de efluentes, pedidos indeferidos, cadastros de usuários, registros de outorgas e pedido de renovação nos Artigos 16 a 22. Deixa clara também a preocupação com a ocorrência de eventos críticos na bacia hidrográfica e a manutenção das características qualitativas e quantitativas dos corpos hídricos (Artigos 26 a 32).

- **Resolução CNRH 29/2002**

Considerando que a atividade minerária tem especificidades de utilização e consumo de água passíveis de provocar alterações no regime dos corpos de água, na quantidade e qualidade da água existente, foi criada a Resolução nº 29, em 11 de dezembro de 2002, com o objetivo de abordar a outorga para atividades no setor de recursos minerais.

O Artigo 2º da referida resolução estabelece que entre os usos de recursos hídricos relacionados à atividade mineraria e sujeitos a outorga estão: a derivação ou captação de água superficial ou extração de água subterrânea, para consumo final ou insumo do processo produtivo e o lançamento de efluentes em corpos de água.

Compete à autoridade outorgante, ao analisar pedidos de outorga de uso de recursos hídricos, considerar os usos prioritários estabelecidos nos planos de recursos hídricos, em especial o transporte aquaviário, e, sempre que necessário, o Plano de Utilização da Água, documento feito pelo empreendedor, contendo informações sobre o volume captado e lançado, bem como o balanço hídrico na área afetada em seus aspectos quantitativos e qualitativos, e suas variações ao longo do tempo (Artigo 8º).

Na análise dos estudos de um pedido de outorga, quando for detectado o comprometimento da disponibilidade hídrica para os usos já outorgados na área afetada, a autoridade outorgante somente poderá emitir esta outorga se houver reposição da água pelo empreendimento, em condições de quantidade e qualidade adequadas aos usos, ressalvados os demais requisitos técnicos e legais (Artigo 9º).

- **Resolução CNRH 37/2004**

A Resolução do CNRH nº 37, de 26 de março de 2004, tem como objetivo estabelecer diretrizes para a outorga de recursos hídricos para a implantação de barragens em corpos de água de domínio dos Estados, do Distrito Federal ou da União.

A resolução estabelece os requisitos mínimos que devem constar em um requerimento de outorga de recursos hídricos para a implantação de barragens. Em seu Artigo 6º esclarece que as regras de operação dos reservatórios, o plano de ação de emergência e o plano de contingência poderão ser reavaliados pela autoridade outorgante, considerando-se os usos múltiplos, os riscos decorrentes de acidentes e os eventos hidrológicos críticos.

O Artigo 8º afirma que o outorgado é responsável pelos aspectos relacionados à segurança da barragem, devendo assegurar que seu projeto, construção, operação e manutenção sejam executados por profissionais legalmente habilitados.

Outro ponto abordado é a questão das barragens destinadas ao uso de potência de energia hidráulica. Neste caso, a outorga de direito de uso de recursos hídricos será precedida da declaração de reserva de disponibilidade hídrica.

### **3.3.2 AS LEGISLAÇÕES ESTADUAIS**

Além das Legislações Federais discutidas até o momento, já existem, para cada estado brasileiro, leis específicas de política e sistema de gerenciamento de recursos hídricos e, em alguns estados, os decretos para a regulamentação de outorga de direito de uso da água. Até o ano de 2006, as regiões que mais haviam avançado com relação à legislação foram Nordeste e Sudeste, onde a maioria dos estados já possuíam, além de uma Política Estadual de Recursos Hídricos, com um corpo de leis sobre a matéria (algumas até anteriores a Lei Federal 9.433/97, como é o caso do Estado da Bahia), decretos específicos sobre outorgas e um sistema de outorga já implementado. Nessas regiões, apenas os Estados do Maranhão e Espírito Santo, ainda não emitiam outorga.

A região Norte parecia ser a mais atrasada: nenhum estado dessa região possuía decreto específico sobre outorga para complementar as Leis da Política Estadual de Recursos Hídricos. Rondônia emitia outorga; entretanto, os demais estados da região ainda não emitiam.

As regiões Centro-Oeste e Sul estavam avançando no processo de outorga. A maioria dos estados já estava emitindo outorga de direito de uso da água.

Com relação à vazão máxima outorgável, observou-se que, na grande maioria dos estados, as leis e decretos não estabeleciam um critério, para determinação dessa vazão. Vários estados utilizavam informalmente um valor como base. Era o caso, por exemplo, de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Tocantins, Goiás, Sergipe, Piauí e Rondônia. Percebeu-se também que, em todos os estados em que a vazão máxima era especificada, o critério de referência era unânime. Observou-se que os estados do Sudeste do país trabalhavam mais com a vazão de referência  $Q_{7,10}$  (média das vazões de sete dias consecutivos de estiagem com período de retorno de 10 anos); já no Nordeste, as vazões de referência mais utilizadas eram  $Q_{90}$  (vazão com probabilidade de superação de 90%) e  $Q_{R90}$  (vazão regularizável com probabilidade de superação de 90%). Silva *et al.*, (2002) afirma que não seria recomendável

estabelecer valores fixos de vazão máxima outorgável para todos os estados, devido à grande variabilidade do regime hidrológico no Brasil.

Quanto às modalidades de outorga, essas são basicamente quatro: cessão, concessão, permissão e autorização e são diferenciadas de estado para estado de acordo com a finalidade de uso.

Numa visão global, nota-se que, na prática, os processos de outorga da maioria dos estados brasileiros ainda não atendem ao que é demandado. Muitos desafios devem ser vencidos, tanto nos aspectos teóricos e de concepção, quanto nos aspectos práticos de operacionalidade dos sistemas. Entre estes desafios estão: a definição do valor adequado para a vazão máxima outorgável, a inexistência de dados fluviométricos nas bacias, o desconhecimento sobre usuários e respectivas demandas, a dificuldade na definição dos sistemas de outorga dos recursos subterrâneos, o desenvolvimento de metodologias específicas para o estabelecimento dos valores adequados a serem outorgados, assim como metodologias que integrem os aspectos quantitativos e qualitativos da outorga.

A ANA (2005) avaliou os sistemas de outorga de alguns estados do país, a partir do diagnóstico de órgãos gestores de recursos hídricos por meio de questionários encaminhados diretamente às respectivas unidades de outorga.

De acordo com a ANA, foi detectado que, com relação à outorga para água subterrânea, não existe uma metodologia específica de análise consolidada para todas as autoridades outorgantes estaduais. Em alguns estados esses pedidos são analisados por meio de testes de bombeamento, outros em função da média da capacidade específica dos aquíferos, mas a maior parte preocupa-se com a tomada de precaução por parte do usuário com a qualidade da água, de modo a evitar a contaminação do aquífero.

No que diz respeito ao lançamento de efluentes, além da própria ANA (em esfera federal) até o ano de 2005, apenas três estados emitiam outorga: Bahia, Rio Grande do Sul e São Paulo. Os Estados da Paraíba e Paraná apesar de possuírem critérios, ainda não emitiam nenhuma outorga com esta finalidade. E nos Estados do Ceará, Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Norte e Tocantins, a outorga para lançamento de efluentes estava em fase de estudo. Segundo Ferreira (2005), apesar de a maioria das legislações do país preverem a outorga para lançamento de efluentes, sua implantação ainda é muito incipiente, sendo a falta de uma base de dados, a maior complexidade envolvida na análise integrada e a indefinição de critérios de outorga as principais razões levantadas.

Somente a ANA e os Estados da Bahia, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo emitem atualmente outorgas para aproveitamentos hidrelétricos. A metodologia usualmente utilizada, faz o levantamento dos usos consuntivos a montante e sua evolução prevista no período de outorga. São levantadas ainda restrições ecológicas a jusante e a necessidade de alocação de vazões para outros usos (por exemplo: navegação, controle de cheias). A outorga é emitida reservando-se as vazões disponíveis no curso de água, descontando-se os usos consuntivos previstos (ANA, 2005).

De acordo com a pesquisa feita pela ANA (2005), cerca de 77% das outorgas emitidas pelos estados são em mananciais superficiais e apenas 23% são em mananciais subterrâneos. Além disso, o Estado de São Paulo é responsável por 55% de toda outorga emitida no país, seguido do Paraná com 16% e Minas Gerais com 12%. Com relação à finalidade de uso da água, aproximadamente 60% das vazões outorgadas para captações são destinadas à irrigação, 17% ao abastecimento, 12% à indústria, 2% à aquicultura, 1% à dessedentação de animais, e o restante a outros usos.

A avaliação dos sistemas de outorga nos estados brasileiros mostra que há necessidade de mudanças nas ações relacionadas à regulação dos usos da água para a efetiva implementação da outorga em nível nacional e cumprimento dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Dentro desse contexto, a ANA propõe ações como: campanhas de regularização de usos dos recursos hídricos existentes, cadastro nacional de usuários de recursos hídricos, estabelecimento de marcos regulatórios, regularização de usos para outorgas em setores estratégicos (por exemplo: saneamento, transporte aquaviário, agricultura irrigada, etc.), outorgas em zonas costeiras e rios transfronteiriços, fortalecimento institucional para implementação de outorga, e proposição de um sistema unificado de informações. Essas ações visam o melhoramento dos sistemas de outorga garantindo assim uma maior proteção e controle dos recursos hídricos do país.

### **3.3.2.1 A OUTORGA NO ESTADO DA PARAÍBA**

Como abordado no item anterior, o Estado da Paraíba já possui sua Política Estadual de Recursos Hídricos e um decreto regulamentando a outorga de direito de uso dos recursos hídricos no âmbito de suas bacias estaduais. Segundo Almeida, *et al.* (2003), o estado vem concedendo outorgas desde 1997 e tem apresentado avanços, tanto em termos de seus

aspectos legais como no desenvolvimento de ferramentas técnicas para apoiar a gestão e o planejamento de recursos hídricos.

A política de recursos hídricos do Estado da Paraíba está instituída na Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, que tem como objetivo assegurar o uso integrado e racional destes recursos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do estado.

A outorga de direito de uso da água é citada na referida Lei (Cap. V, Sessão I) como um dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos. Ainda é ressaltado que, qualquer intervenção nos cursos de água ou aquífero de domínio do estado que implique na utilização dos recursos hídricos, a execução de obras ou serviços que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade dos mesmos, depende da autorização do órgão gestor, e do Sistema de Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado Paraíba (Artigo 15). No entanto, detalhes mais específicos referentes à outorga só foram legalmente esclarecidos através do Decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997, que regulamenta a outorga de direito de uso de água no Estado da Paraíba. O Quadro 3.2 descreve algumas considerações apresentadas pelo Decreto nº 19.260 sobre esse tema.

**Quadro 3.2** – Considerações apresentadas no Decreto 19.260/97

<b>Artigo 6</b>	
Usos que dependem de outorga	I – derivação ou captação de parcela de recursos hídricos existentes em um corpo d'água, para consumo final ou para insumo de processo produtivo;
	II – lançamento em um corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos com o fim de sua diluição, transporte e assimilação de esgotos urbanos e industriais;
	III – qualquer outro tipo de uso que altere o regime, a quantidade e a qualidade da água;
<b>Artigo 7</b>	
Usos independentes de outorga	I – não se exigirá outorga de direito de uso de água na hipótese de captação direta na fonte, superficial ou subterrânea, cujo consumo não exceda de 2.000 l/h (dois mil litros por hora).
<b>Artigo 8</b>	
Não concessão da outorga	I – lançamento na água de resíduos sólidos, radioativos, metais pesados e outros resíduos tóxicos perigosos;
	II – lançamento de poluentes nas águas subterrâneas



<b>Artigo 12</b>	
Prioridade de uso para outorga	I – abastecimento doméstico
	II – abastecimento coletivo especial, compreendendo hospitais, quartéis, presídios, colégios, etc.
	III – outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial (entidades públicas, do comércio e da indústria, ligados à rede urbana);
	IV – o uso da água, mediante captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços
	V – o uso da água, mediante captação direta ou por infraestrutura de abastecimento para fins agrícolas, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, etc
	VI – outros usos permitidos pela legislação em vigor
<b>Artigo 17</b>	
Possibilidades de extinção da outorga	I – abandono e renúncia, de forma expressa ou tácita;
	II – inadimplemento de condições legais, regulamentares ou contratuais;
	III – caducidade;
	IV – uso prejudicial da água, inclusive poluição e salinização;
	V – dissolução, insolvência ou encampação do usuário, pessoa jurídica;
	VI – morte do usuário, pessoa física;
	VII – quando for considerado uso inadequado para atender aos compromissos com as finalidades sociais e econômicas.
<b>Artigo 18</b>	
Prazo de vigência da outorga	Será de 10 (dez) anos o prazo máximo de vigência da outorga de direito de uso da água, podendo ser renovado.
<b>Artigo 26</b>	
Valor máximo outorgável para mananciais superficiais	A soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 (nove décimos) da vazão regularizada anual com 90% (noventa por cento) de garantia. Tratando-se de lagos territoriais ou de lagoas, o limite previsto no "caput" deste artigo será reduzido em 1/3 (um terço)
<b>Artigo 27</b>	
Valor fixado para mananciais subterrâneos	A base quantitativa para outorga do direito de uso sobre águas subterrâneas será considerada a partir de 2.000 l/h.

Um dos aspectos específicos previstos no decreto é a limitação para usos considerados insignificantes (Artigo 7º). Outro aspecto específico é a prioridade de uso para outorga que considera primeiramente o abastecimento humano de vários tipos, seguido dos usos industriais, comerciais e prestação de serviço, posteriormente os usos para fins agrícolas e, por fim, os demais usos.

Outra peculiaridade do Decreto nº 19.260 é o prazo de validade das outorgas estipulado em dez anos (Artigo 18). O mesmo decreto determina como critério de vazão outorgável, em seu Artigo 26, o valor máximo de 0,90 da vazão de referência  $Q_{R90}$  para outorga em mananciais superficiais e fixa um valor mínimo acima do qual deverá ser realizada a outorga em aquíferos (Artigo 27).

Não são abordados, no Decreto nº 19.260, pontos como critérios de captação máxima para usuários individuais e critérios específicos para definição de vazão ecológica ou mínima a jusante de barramentos.

O processo de outorga de direito de uso das águas é atualmente uma ação conjunta entre a Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba (AESA), que faz a análise técnica dos processos, e a Secretaria de Estado de Ciências e Tecnologia e do Meio Ambiente (SECTMA) que os homologa através da assinatura e publicação da outorga. De acordo com Braga *et al.* (2004), a análise técnica do pedido de outorga é distribuída em quatro etapas: análise documental; análise de projeto; análise hidrológica; visita de campo. Em relatório feito para a ANA (2005), a AESA descreve como principais problemas verificados no sistema de outorga, as questões orçamentárias que limitam a continuidade e manutenção desse sistema no estado. Outro ponto relevante é o fato de a outorga ainda não estar difundida entre todos os usuários de água, podendo ser melhorada através de campanhas esclarecedoras, treinamento de técnicos para a formação de agentes multiplicadores, descentralização dos locais de entrega do protocolo (atualmente feito apenas na capital do estado) e cadastro de usuário.

Com relação ao planejamento e gestão das águas, um importante passo realizado no estado da Paraíba foi a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/2006). Dentre outros aspectos, o PERH propôs a realização de programas e medidas que visem um cenário sustentável de gestão integrada das demandas e das disponibilidades hídricas no Estado. Um desses programas, intitulado no referido documento de *Desenvolvimento e Articulação Institucional*, aborda o sistema informatizado de gestão de outorga. Alguns pontos relevantes, tais como objetivos, justificativa, linhas de ação, metas e indicadores serão apresentados no Quadro 3.3.

### **Quadro 3.3 – Sistema Informatizado de Outorga**

---

#### **1 – Objetivos**

O objetivo do programa consiste em propor e implantar um Sistema Informatizado de Gestão de Outorga, apoiando, dessa forma, o processo de análise e encaminhamento dos pedidos de outorgas no estado da Paraíba. A implantação desse sistema possibilitará, dentre outras atividades, reunir e disponibilizar todas as informações necessárias à análise do pleito de outorga e, assim, facilitar a elaboração de mapas, cadastro de outorgados, e a elaboração e atualização de relatórios para os interessados no pleito. Trata-se de uma ferramenta que irá auxiliar no desenvolvimento dos trabalhos referentes à outorga, instrumento da Política Estadual de Recursos Hídricos.

---

#### **2 – Situação Atual e Justificativa**

O Estado ainda não possui uma estrutura informatizada que possibilite o armazenamento das informações necessárias ao cadastro e análise dos pleitos de outorga. A implantação de um sistema informatizado contribuirá para o desenvolvimento dos instrumentos de gestão de recursos hídricos no nível estadual, bem como para a alimentação e manutenção de um Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, instrumento da Política Nacional, em elaboração pela ANA.

---

#### **3 – Escopo (Linhas de Ação e Metas)**

As principais linhas de ação deste Programa consistem na criação e estruturação de um banco de dados georreferenciado possibilitando o armazenamento das informações necessárias à emissão das outorgas (vazão, tipos de demandas, usuários cadastrados, fontes hídricas, entre outras). O sistema deverá, também, proporcionar fácil acesso aos usuários não só os que compõem o corpo técnico da AESA, como os usuários da água outorgada. O Programa deverá propor a elaboração e implementação do sistema a curto e médio prazos, até 2011, enquanto a elaboração periódica do mesmo será realizada ao longo de todo o horizonte de planejamento.

---

#### **4 – Indicadores (Meios de Verificação)**

- Sistema informatizado de gestão de outorga elaborado e implementado até 2011;
- Aprimoramento do Sistema e atualização permanente das informações contidas no banco de dados, passível de verificação por meio do Relatório Anual sobre a situação dos recursos hídricos, a ser elaborado pela AESA.

---

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos (2006)

Especificamente para a Bacia do Rio Piancó, alvo deste estudo, o processo de outorga, segue os preceitos estabelecidos pela Lei Estadual nº 6.308 e pelo Decreto nº 19.260/97.

### **3.4 CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL**

Dois tipos de critérios de definição da vazão de máxima outorgável podem ser encontrados na literatura: o critério baseado em vazão referencial e o critério baseado em

quantidade de falhas pré-determinadas ou vazão excedente. Esses critérios serão descritos a seguir.

### 3.4.1 CRITÉRIO DA VAZÃO REFERENCIAL

Um dos grandes entraves com relação ao processo de outorga de direito de uso de água é quantificar a vazão máxima a ser liberada para os usuários. No Brasil, muitos estados ainda não possuem legislação específica de outorga que estabeleça critérios para determinação dessa vazão e nos estados em que existe legislação, unanimemente, são utilizados os critérios baseados em vazões de referência. Normalmente é estabelecido um percentual desta vazão para tornar-se o limite máximo de utilização do recurso hídrico. Esse valor é aceito como a vazão máxima outorgável.

Alguns exemplos clássicos de vazão de referência são a  $Q_{7,10}$  (média das vazões de sete dias consecutivos de estiagem com período de retorno de 10 anos); a  $Q_{90}$  (vazão com probabilidade de superação de 90%), definida através da estimativa da curva de permanência das vazões naturais (Ribeiro, 2000); a  $Q_{85}$  e a  $Q_{95}$  (vazões com probabilidade de superação de 85 e 95%, respectivamente), e a  $Q_{R90}$  (Vazão regularizada com 90% de garantia).

Segundo Harris *et al.* (2000), a aplicação do critério de vazão de referência é o procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são geralmente feitas a partir de uma vazão de base de pequeno risco. Para Santos e Oliveira (2005), a vantagem de usar vazões de estiagem é a de que se obtêm maiores garantias de que não ocorrerão falhas de atendimento.

Por outro lado, alguns autores (Pereira e Lanna, 1996; Ribeiro, 2000; Medeiros e Naghettini, 2001) criticam o uso da vazão de referência como base para outorga, pois, segundo esses autores, apesar de minimizar os riscos de falha no atendimento às demandas, limita a expansão dos sistemas de uso da água visto que, em grande parte do tempo, as vazões ocorridas superam as vazões de referência.

Silva e Lanna (1997) analisaram critérios de outorga na Bacia do Rio Branco – BA, com o objetivo de compatibilizar as crescentes demandas com a oferta natural da bacia e concluíram que o critério de outorga, utilizando a vazão de referência, adotado pelo estado é insuficiente para atender todas as demandas, sendo possível, na região, outorgar valores maiores de cotas hídricas, desde que aconteça em épocas que a disponibilidade no leito seja significativa; aliada a possibilidade de implantação de uma fiscalização mais eficiente; e a

adoção de práticas conservacionistas e proteção das veredas. Os autores sugeriram que fosse adotada para a bacia, uma metodologia de outorga mais flexível, baseada não apenas na oferta de água em situações críticas de estiagem, visando maximizar os benefícios das derivações e minimizar os conflitos, desperdícios e impactos ambientais.

Paiva (2002) utilizou-se do critério de vazão de referência baseado na  $Q_{90}$  para simular um sistema de outorga na Bacia do Rio Gramame-PB. Segundo a autora, a vantagem na adoção de vazões de referência é a maior facilidade de implementação pelo órgão gestor. No entanto, os resultados gerados através de simulações mostraram um elevado percentual de falhas de atendimento a demanda em vários pontos de controle ao longo da bacia estudada e alertaram para o fato que o uso de vazão de referência pode limitar a expansão dos sistemas de uso da água. A autora ainda concluiu que é necessário desenvolver novas metodologias para determinação de critérios de outorga para a bacia.

Diante dessa problemática, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de minimizar as perdas geradas pela não utilização dos excedentes hídricos nos meses em que a vazão for superior à vazão de referência.

Ribeiro (2000), baseado no valor de referência  $Q_{90}$ , comparou a vazão máxima outorgável para a Bacia do Rio Pirapama-PE, através de valores de vazão de referência anual e com variabilidade mensal, e concluiu que o critério baseado em vazão referencial mensal permitiu uma melhor caracterização do regime hidrográfico, sendo preferível ao da vazão anual, que limita o uso da água superiormente em um único valor para todo o ano.

Um estudo realizado por Câmara e Lanna (2002) na Bacia do Rio Gramame – PB estabeleceu dois valores diferenciados de vazão máxima outorgável, um para o período chuvoso e outro para o período seco, levando em consideração as séries de vazões de cada período. Entretanto, de acordo com os autores, este critério, apesar de mostrar-se mais eficiente que o critério de uso de uma única vazão de referência, só pode ser utilizado em regiões com estações secas e chuvosas bem definidas, sendo necessária uma análise prévia da periodicidade das chuvas.

Medeiros e Maghettini (2001) propuseram e avaliaram a utilização de um fator de correção anual (FC) para a vazão outorgada, em função da variação de vazão ao final da estação chuvosa de cada ano, com o intuito de aumentar as disponibilidades hídricas dos anos chuvosos e, conseqüentemente, expandir as atividades dos usuários em anos com maiores ofertas hídricas. Esse fator de correção era calculado através de uma equação de regressão

regional e a nova outorga era então avaliada em relação às demandas estimadas dos usuários, à disponibilidade hídrica da bacia e ao critério tradicional de vazão referencial. Como resultado da aplicação do fator de correção da vazão outorgada, os autores obtiveram valores superiores de vazão ofertada em relação ao critério de vazão fixa utilizado na bacia (30% de  $Q_{7,10}$ ). Porém, o método mostrou-se restrito a bacias com rede de estações fluviométricas densas que assegurem a determinação das vazões médias nos trechos de controle e a aplicação em anos secos, caracterizados por situação de racionamento hídrico.

Maia *et al.* (2005) realizaram um estudo da vazão outorgável na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, através do uso de um fator de correção de sazonalidade mensal. De acordo com o estudo, foi analisada a vazão a ser outorgada como sendo 30% da vazão de referência  $Q_{7,10}$ , para períodos de estiagem, e um valor acima deste para períodos úmidos. O modelo utilizado baseou-se no estudo proposto por Medeiros e Maghettini (2001), no entanto, o modelo de regressão para o fator de correção foi ajustado pelo método dos mínimos quadrados, sendo retirados, após cada ajuste, as variáveis com maior correlação, a fim de encontrar o modelo mais simples, porém com ajuste satisfatório. Após a análise foi estabelecido um limite para a utilização da equação em áreas de drenagem superiores a 2.500 km<sup>2</sup>. Os autores concluíram que quando aplicado o fator de correção nos meses de maior oferta hídrica obtém-se um aumento significativo das vazões de outorga e nos meses de menor oferta hídrica eles se mantêm como os mesmos 30% de  $Q_{7,10}$ . Entretanto, este fator de correção de sazonalidade apenas poderia ser aplicado em locais onde a disponibilidade de água ainda é abundante em relação a demanda.

Lobo *et al.* (2005) estudaram a determinação de vazões mínimas de referência para processos de outorga de uso de água baseada em equações de regionalização de vazões mínimas do tipo  $Q_{7,10}$ . Segundo os autores, as equações obtidas estatisticamente a partir de séries históricas de vazões superficiais podem ser melhoradas a partir da inserção, nessas equações, de um fator de correção que leve em conta as características hidrogeológicas da bacia hidrográfica. Os dados mostraram diferenças significativas nas vazões específicas entre as estações denotando que as equação que tiveram as vazões mínimas de referência do tipo  $Q_{7,10}$  provavelmente necessitam da introdução de um parâmetro hidrogeológico para refletir efetivamente variações desse fator nas bacias hidrográficas. Cálculos de  $Q_{7,10}$ , para os pontos de monitoramento da bacia estudada resultaram em valores proporcionais às respectivas áreas de drenagem. Os autores também acrescentaram que, as equações de regionalização foram definidas a partir das estações fluviométricas com áreas de drenagem maiores que 100 km<sup>2</sup>, e

portanto, seria razoável a hipótese adicional de que o fator de correção deva ser mais importante em bacias pequenas, já que em bacias maiores esse fator estaria incorporado nas análises estatísticas já executadas.

Cruz e Tucci (2005) apresentaram um equacionamento do balanço hídrico, cujas características principais são a simplicidade e a consideração da variabilidade sazonal e interanual dos recursos hídricos ofertados na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí. A metodologia proposta pelos autores, incluiu vários aspectos relativos a critérios de alocação dos recursos hídricos disponíveis, baseando-se na opção de caracterização da disponibilidade hídrica pelo critério de vazão de referência ( $Q_{95}$ ) e associando-se a diferentes patamares de risco. Dentre os aspectos analisados, os autores destacaram os freqüentes casos em que o órgão gestor precisavam gerenciar a distribuição justa dos recursos hídricos entre as unidades de gerenciamento constituídas de sub-bacias de um sistema maior. Para esses casos, foi proposto a realização de um balanço prévio (com otimização) da bacia maior, considerando como trechos de gerenciamento, cada sub-bacia, que são etapas necessárias para a elaboração dos planos de bacias e do plano estadual de recursos hídricos. Concluiu-se que os resultados obtidos através de simulações poderiam modificar as expectativas dos planos de bacia e, em vista disso, nova interação global poderia ser requerida.

Santana *et al.* (2005) avaliaram métodos para determinação da disponibilidade hídrica para fins de outorga no triângulo mineiro. A metodologia proposta baseava-se nos estudos de regionalização de vazões e avaliações hidrométricas locais em períodos de vazões críticas. Os autores concluíram que em regiões onde existam grandes deficiências de informações hidrológicas, as estimativas de disponibilidades hídricas realizadas podem apresentar valores abaixo do esperado, elevando os níveis de incertezas e erros envolvidos no processo de outorga, a ponto de inviabilizar empreendimentos que poderiam incrementar o desenvolvimento econômico da região envolvida.

#### **3.4.2 CRITÉRIO DA QUANTIDADE DE FALHAS PRÉ-DETERMINADAS (VAZÃO EXCEDENTE)**

Além do critério baseado em vazão de referência, outra metodologia utilizando a quantidade de falhas pré-determinadas, ou vazão excedente, também tem sido estudada e apresentada na literatura. Utilizando-se dessa metodologia, atribui-se uma prioridade para cada classe de demanda de uso: reserva-se a vazão para abastecimento público e para a vazão

ecológica, sendo o restante outorgado em cada ponto de controle de montante para jusante até que o número de falhas no atendimento atinja a garantia desejada (Medeiros, 2000). Por ser um conceito relativamente recente, observa-se que ainda não existem na literatura tantos trabalhos envolvendo outorga baseada no critério de quantidade de falhas pré-estabelecidas, quanto aqueles que envolvem a vazão referencial.

Pereira e Lanna (1996) apresentaram uma metodologia de critério de outorga com diversos níveis de prioridades relativas, através do qual os usos menos prioritários deverão cessar sempre que ocorrerem falhas de suprimento em usos de maior prioridade. Este método, ao invés de fixar uma vazão de referência, fixa a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade. Neste caso, o usuário ao receber o direito de uso da água fica ciente do risco de não suprimento da sua demanda. Foi constatado que apesar de necessitar de um melhor aparelhamento do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, o método apresenta a vantagem econômica e social de aumentar o uso da água disponível, ampliando o valor total da vazão outorgável.

Estudando diferentes critérios de outorga dos direitos de uso da água na Bacia do Rio Branco-BA, Lanna *et al.* (1997) mostraram que, em relação aos critérios de vazão de referência, o critério da vazão excedente apresentou diversas vantagens, pois permitiu um maior uso das disponibilidades hídricas da bacia e, conseqüentemente, um incremento dos benefícios derivados da água, sem afetar, em termos quantitativos, os suprimentos de demandas prioritárias como abastecimento público e proteção de ecossistemas. Os autores concluíram que a única justificativa para a utilização de critérios de outorga baseados em vazão de referência é a facilidade de sua implementação, considerando, portanto, que, sob qualquer outro ponto de vista, esta alternativa não pode ser sustentada.

Segundo Arnéz (2002), como o usuário necessita de uma certa segurança sobre a vazão que lhe será outorgada, pois precisa planejar sua atividade produtiva, uma das desvantagens do critério de quantidade de falhas pré-estabelecidas é que a vazão outorgável pode variar muito, dependendo das condições da bacia. Uma forma de resolver o problema seria introduzir o conceito de vazão total outorgável, e uma variável, chamada de vazão condicionada, cuja grandeza variaria de acordo com a situação de disponibilidade hídrica da bacia. O autor ainda afirma que, apesar de um sistema de outorga flexível oferecer algumas vantagens, ele é de difícil implementação, o que poderia comprometer a aplicabilidade do instrumento e exigir uma maior fiscalização por parte do órgão gestor.



### 3.4.3 VAZÃO REFERENCIAL *VERSUS* VAZÃO EXCEDENTE

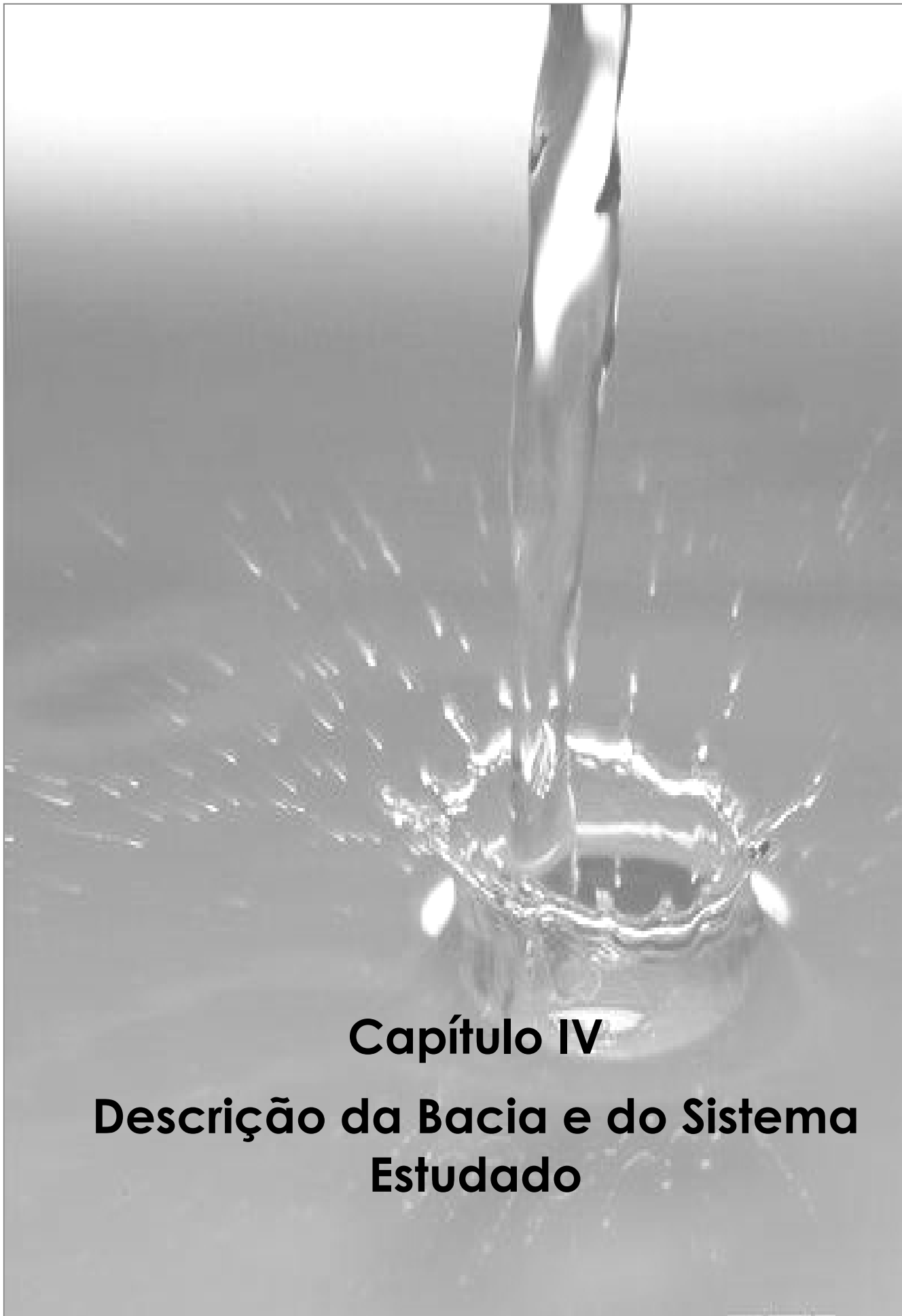
Analisando os itens expostos, observa-se que a principal crítica existente a respeito do critério de vazão de referência está na questão da subutilização da água nos meses em que a vazão natural supera a vazão fixada. As principais vantagens desse critério são a confiabilidade de atendimento e a simplicidade de aplicação dessa metodologia.

É importante ressaltar que, em regiões semi-áridas, a questão da confiabilidade de atendimento torna-se um ponto bastante relevante, pois a falta de recurso hídrico por alguns meses pode implicar em situações de grandes prejuízos econômicos e sociais, como por exemplo, perda total de culturas irrigadas. Convencer um irrigante que ele terá mais vazão, porém não terá grande segurança que está mesma vazão estará disponível para ele na maior parte do tempo, não é tarefa fácil, uma vez que a vantagem pode ser considerada duvidosa.

Por outro lado, observando os estudos baseados no critério de quantidade de falhas pré-determinadas, nota-se que, apesar da vantagem de maior disponibilidade hídrica, a metodologia apresenta desvantagens de diminuição de confiabilidade de atendimento e complexidade de implementação, necessitando de melhor aparelhamento do sistema de gerenciamento, e maior frequência de monitoramento dos pontos de controle, o que implica em maior demanda de profissionais qualificados.

A situação aparentemente ideal seria uma metodologia que unisse a confiabilidade e simplicidade encontradas no critério de vazão referencial com a utilização das vazões excedentes sugeridas no critério de falhas pré-determinadas. No entanto, mesmo que fosse possível a criação de tal metodologia, ainda não se poderia utilizá-la unanimemente em todos os sistemas hídricos, principalmente porque cada sistema possui suas próprias particularidades, e a escolha de uma metodologia depende, entre outros fatores, das características da região, sejam elas físicas, econômicas ou sociais.

Assim sendo, o presente estudo pretende contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de apoio à outorga dos direitos de uso da água, tendo como base o critério de vazão referencial.



**Capítulo IV**  
**Descrição da Bacia e do Sistema**  
**Estudado**

## **4 DESCRIÇÃO DA BACIA E DO SISTEMA ESTUDADO**

Um dos pontos mais importantes para que um processo de outorga seja realizado de modo satisfatório, atendendo a todos os objetivos a que se propõe, é o conhecimento, de maneira integrada, da bacia hidrográfica, através da análise das partes que a compõem como os rios, reservatórios, as atividades que envolvem os vários usos da água e conflitos existentes e potenciais. Partindo desse pressuposto, neste capítulo é feito um estudo da Bacia do Rio Piancó, observando suas características geofísicas, climatológicas, hidrologia, qualidade das águas, conflitos de uso e aspectos sócio-econômicos. Além disso, é feita uma descrição do sistema estudado, considerando o reservatório Coremas-Mãe D'Água e suas áreas de influência, tanto a montante quanto a jusante.

As informações aqui descritas servirão de suporte para a aplicabilidade do modelo de outorga proposto neste estudo.

### **4.1 DESCRIÇÃO DA BACIA DO PIANCÓ**

#### **4.1.1 LOCALIZAÇÃO DA BACIA**

A Bacia do Rio Piancó compõe, juntamente com mais sete sub-bacias, a Bacia do Rio Piranhas, também conhecida por Piranhas-Açu. Está localizada no extremo sudoeste do Estado da Paraíba entre as latitudes 6° 43' 51'' e 7° 58' 15'' Sul e entre as longitudes 37° 27' 41'' e 38° 42' 49'' Oeste. Limita-se com as Bacias do Alto e Médio Piranhas ao norte, com o Estado de Pernambuco ao sul, com a Bacia do Rio Espinharas a leste e com o Estado do Ceará a oeste. As Figuras 4.1 e 4.2 mostram mais claramente a localização e fronteiras da bacia estudada.

As nascentes do Rio Piancó encontram-se na Serra do Umbuzeiro no município de Santa Inês, recebendo significativas contribuições de seis cursos d'água na sua margem esquerda e quinze cursos d'água em sua margem direita, desaguando finalmente no Rio Piranhas, no município de Pombal.

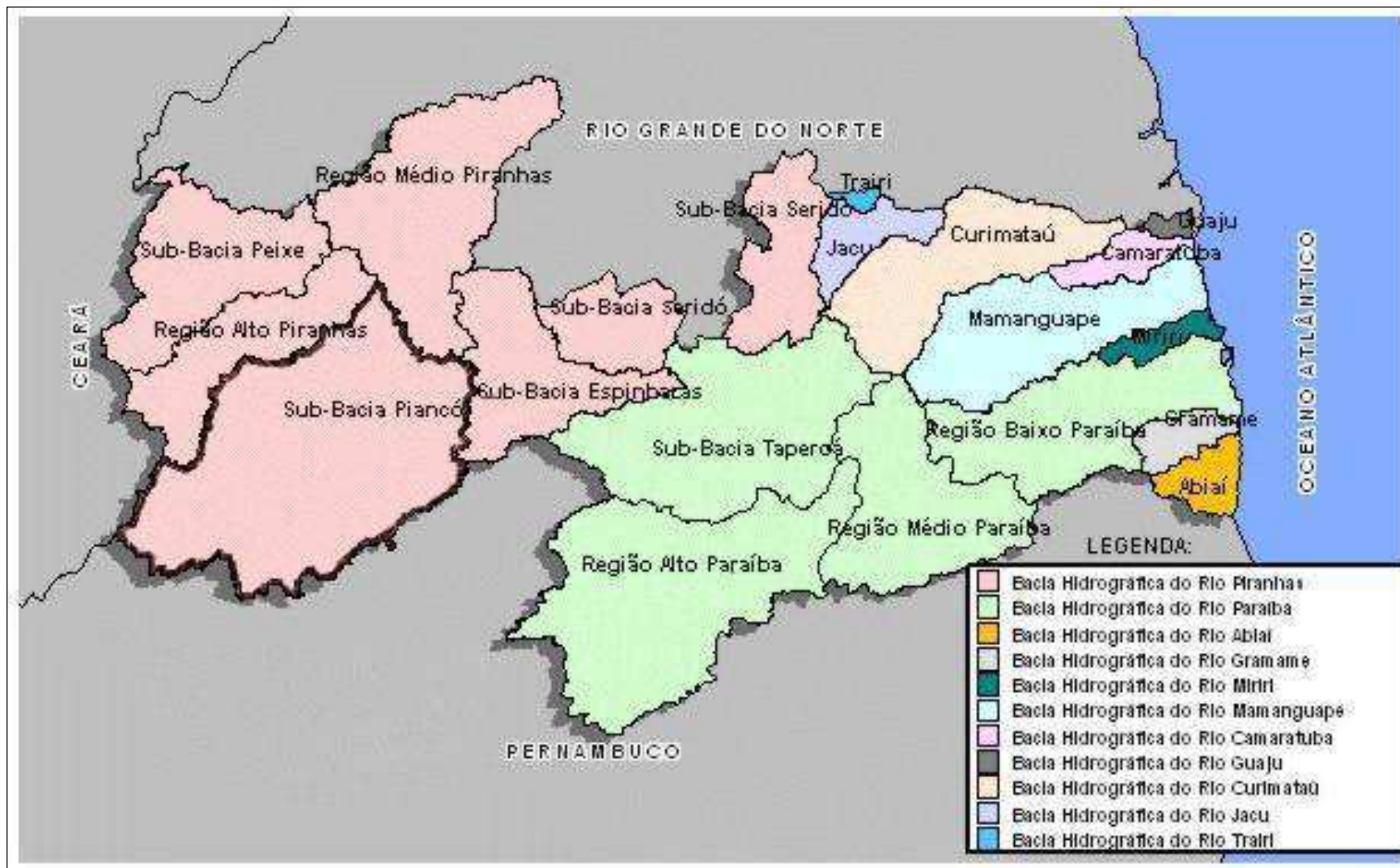
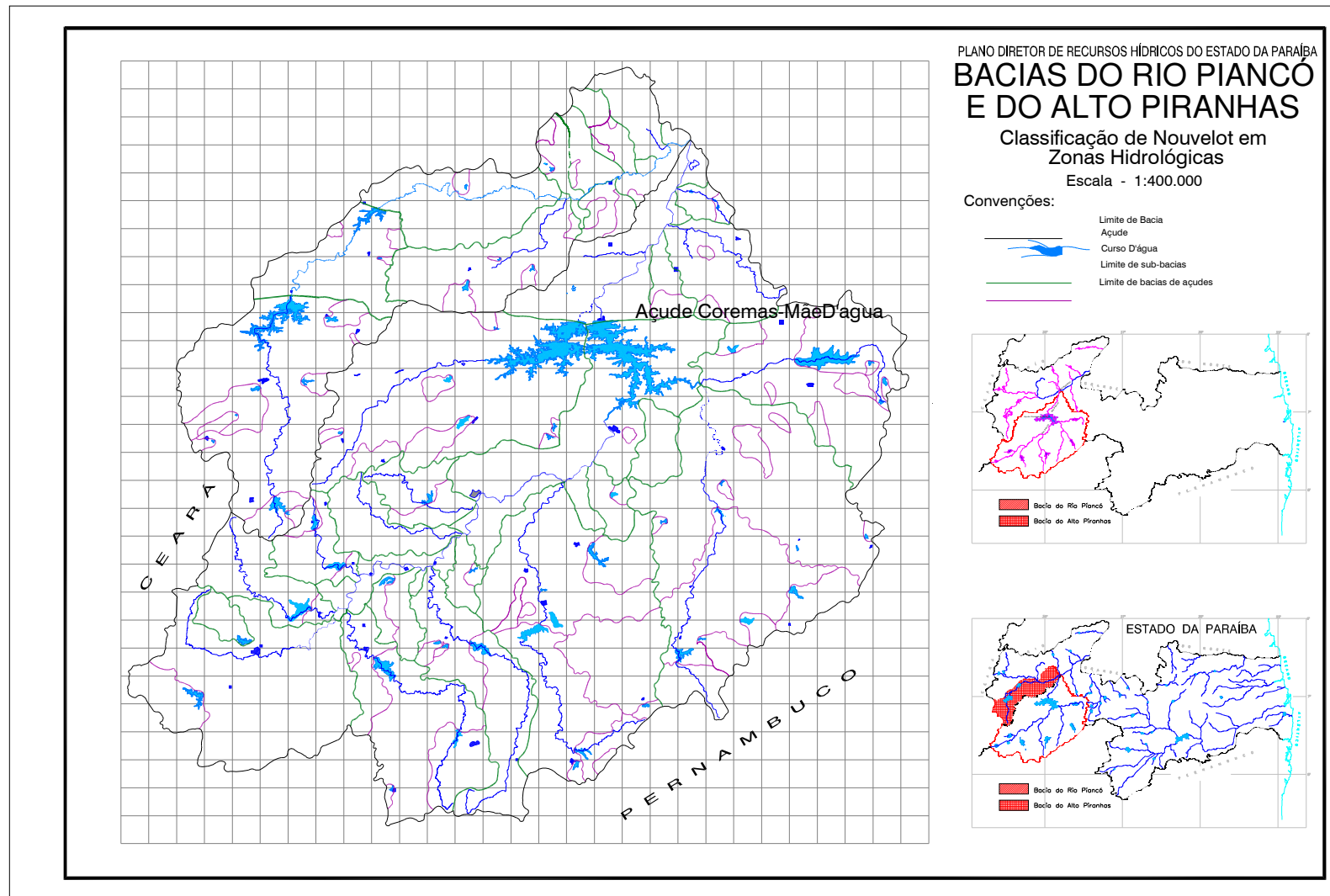


Figura 4.1 – Localização e fronteiras da Bacia do Rio Piancó.



**Figura 4.2 – Bacia do Rio Piancó**

## 4.1.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DA BACIA

Grande parte do curso da Bacia do Rio Piancó encontra-se inserida numa região classificada, segundo a classificação climática de Köppen, como tropical chuvoso, com estação pluviosa concentrada no verão e no outono. O seu baixo curso e pequena parte dos seus afluentes da margem direita atravessam regiões classificadas como seca de tipo estepe, com estação seca no inverno (SCIENTEC,1997).

### 4.1.2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é um dos principais elementos que caracterizam o clima de uma região afetando diretamente o balanço hídrico. Seu valor real depende das condições de suprimento em água do reservatório. Os hidrólogos e os agrônomos têm, há muito tempo, introduzido o conceito de evapotranspiração potencial (ETP) e é este valor que é “mapeável”. A evapotranspiração potencial é calculada a partir dos dados climáticos ou a partir dos valores medidos em tanques evaporimétricos, adotando para isto um coeficiente de tanque que depende das características de instalação da estação (geralmente da ordem de 0,70 a 0,80).

Os valores de evaporação média mensal e anual extraídos do posto de Coremas, através de dados de evaporímetros do tipo tanque classe A são mostrados na Tabela 4.1, e demonstram que a taxa de evapotranspiração na Bacia do Piancó é bastante alta, superando 2.900 mm por ano.

**Tabela 4.1** – Evaporação média mensal (mm) do Posto de Coremas na Bacia do Piancó

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Coremas (mm)	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6	2993,4

Fonte: PDRH/PB – SCIENTEC (1997)

### 4.1.2.2 PRECIPITAÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Piancó possui uma precipitação média anual de 821 mm, ficando, nos meses de fevereiro, março e abril em torno de 493 mm, cerca de 60% da média anual. A Tabela 4.2 mostra os valores médios de precipitação mensal e anual coletados do posto de Coremas.

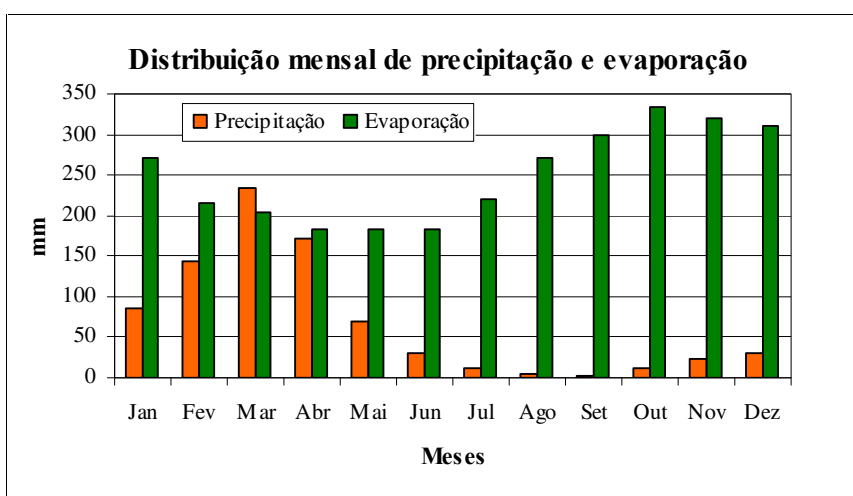
**Tabela 4.2** – Precipitações médias mensais e anual no posto de Coremas

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Coremas (mm)	85	143	235	171	69	31	11	5	2	12	24	31	821

Fonte: Lima (2004)

A Figura 4.3 apresenta a distribuição mensal dos dados de evaporação e precipitação referentes ao posto de Coremas. De acordo com a figura, pode-se observar que a lâmina de água evaporada é bem maior que a precipitada, na maioria dos meses do ano, principalmente de junho a dezembro.

**Figura 4.3** – Distribuição mensal de precipitação e evaporação do reservatório Coremas



#### 4.1.2.3 TEMPERATURA MENSAL MÉDIA

Diferentemente da precipitação, a temperatura mensal média apresenta pouca variação de um ano para outro. Os valores de temperatura média mensal e anual extraídos dos postos de Coremas e São Gonçalo são mostrados na Tabela 4.3. No posto de Coremas, o valor médio anual é de 27,6°C, e, no posto de São Gonçalo, é de 26,4°C.

**Tabela 4.3** – Temperaturas médias mensais e anual observados no posto de Coremas

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Coremas (°C)	28,6	27,0	27,2	26,8	26,6	25,4	25,5	26,3	27,6	28,3	28,8	28,7	27,6
S. Gonçalo (°C)	27,3	26,5	26,1	25,9	23,4	25,1	26,2	26,3	25,6	28,8	27,8	27,9	26,4

Fonte: Câmara (2000)

As características climatológicas, em especial, temperatura média mensal, precipitação e evaporação são parâmetros diretamente compromissados com a potencialidade e disponibilidade hídrica e com impactos tanto positivos quanto negativos em uma bacia hidrográfica. Dentro desse contexto, percebe-se, que para o modelo de outorga proposto neste estudo e descrito mais adiante, no Capítulo V, esses parâmetros são bastante importantes e influenciam diretamente na quantificação do volume de água outorgável para usuários.

### **4.1.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA**

#### **4.1.3.1 ÁGUA SUPERFICIAIS**

A Bacia do Rio Piancó apresenta, como principal canal de drenagem superficial, o Rio Piancó, cuja nascente encontra-se no sudoeste do Estado da Paraíba, mais precisamente na Serra do Umbuzeiro (município de Santa Inês). Da sua nascente o Rio Piancó percorre 208 km, atravessando os municípios de Diamante, Boa Ventura, Itaporanga e Piancó e chegando ao reservatório de Coremas-Mãe D'Água na cidade de Coremas, de onde continua seu percurso, desaguando no Rio Piranhas (município de Pombal).

O Rio Piancó recebe contribuições de quinze cursos d'água na sua margem direita: sendo os mais importantes: Riachos do Açude Serra Vermelha, Canoas, Fartura, Santana, Saco, Bruscas, Cachoeira Grande, Vaca Morta, Pilões, Passagem de Pedra, Catolé, Goiabeira, Madrugá, Miguel e Várzea de Boi, e seis cursos d'água em sua margem esquerda: Riachos Humaitá, Coelho, Ortis, Cachoeira, Capim Verde (Aguiar) e Meio.

O Rio Piancó classifica-se em termos de ordem de cursos d'água segundo Strahler, como sendo de ordem sete.

O alto grau antrópico - cerca de 67,4% na bacia, representado pelo uso do solo nas atividades agropecuárias e na considerável densidade de açudes de pequeno porte, implicam em forte influência no comportamento do escoamento superficial.

Com relação à distribuição e densidade da açudagem, representada como sendo um índice da utilização dos recursos hídricos superficiais, principalmente para o abastecimento da população rural, o abastecimento animal e a pequena irrigação, nota-se que o número de açudes existentes na Bacia do Piancó totaliza 1.336, correspondendo a uma densidade de 0,14 açudes/km<sup>2</sup>. A distribuição do número de açudes por ordem de classificação do curso d'água, bem como o percentual em relação ao número total estão expostos na Tabela 4.4.



**Tabela 4.4** – Número de açudes por ordem do curso d'água

Dados	Ordem do curso d'água							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
Nº de Açudes	831	380	98	13	10	03	01	1.336
Percentual do número total (%)	62,2	28,4	7,4	1,0	0,7	0,2	0,1	100

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997)

Segundo a Lei Estadual 6.308/97<sup>1</sup>, os açudes podem ser classificados, de acordo com seu volume, como:

- Micro .....  $< 0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Pequeno ..... de  $0,5$  a  $7,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Médio ..... de  $7,5$  a  $75 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Grande ..... de  $75$  a  $750 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Macro .....  $> 750 \times 10^6 \text{ m}^3$

Os pequenos açudes, por serem distribuídos principalmente nos riachos ou cursos d'água efêmeros, de ordem 1 e 2 na classificação de Strahler, interceptam significativamente os escoamentos superficiais oriundos das primeiras chuvas. A partir de certo volume precipitado em quantidade suficiente para extravasar os pequenos açudes, estes passam a contribuir quase que simultaneamente para os cursos d'água mais a jusante, de ordens mais elevadas. Neste momento, as contribuições passam a ser efetivas para os armazenamentos em açudes de maior porte.

A ocorrência do significativo número de pequenos açudes, se por um lado favorece a distribuição geográfica e o acesso à água armazenada, mesmo que durante poucos meses após a estação chuvosa, por outro lado, diminui sensivelmente o rendimento hídrico da bacia, devido às maiores perdas por evaporação. O efeito dos pequenos armazenamentos se faz sentir no regime hidrológico e também no processo de formação de cheias. Ao mesmo tempo em que a frequência de cheias de menor magnitude diminui, as grandes cheias passam a ter maiores valores de pico nos cursos d'água de ordem superior. Isto se deve à simultaneidade dos transbordamentos nos pequenos açudes, aliada à saturação dos solos da bacia nessas ocasiões.

---

<sup>1</sup> Lei Estadual de 2 de julho de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos

O volume total de água armazenável na Bacia do Rio Piancó está apresentado na Tabela 4.5 sendo igual a 2 bilhões e 234 milhões de m<sup>3</sup>.

**Tabela 4.5** – Distribuição das capacidades de armazenamento (em milhões de m<sup>3</sup>) por ordem do curso d'água

Dados	Ordem do curso d'água							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
Capacidade (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	89,1	111,9	110,9	60,4	340,2	801,5	720,0	2.234
Percentual do número total (%)	4,0	5,0	5,0	2,7	15,2	35,9	32,2	100

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997)

#### 4.1.3.2 ÁGUA SUBTERRÂNEAS

Na Bacia do Rio Piancó, a província cristalina é predominante. No entanto, em áreas próximas ao exutório da bacia, ocorre a existência do sistema multi-aquífero Rio do Peixe, com delimitação ainda incerta, no nível atual de estudos da hidrogeologia daquela região. Composto finalmente o sistema hidrogeológico, aparece na bacia o aquífero aluvial, locado principalmente, a partir do médio curso do rio Piancó e alguns tributários. O potencial de águas subterrâneas estimado para a bacia hidrográfica constitui-se dos potenciais dos sistemas aquíferos acrescidos das reservas exploráveis dos seus aluviões e das reservas exploráveis do cristalino. A potencialidade de águas subterrâneas da bacia é de aproximadamente 8% de todo o seu potencial, estimado em 775,2 hm<sup>3</sup>/ano. A potencialidade de águas subterrâneas corresponde a 62,1 milhões de m<sup>3</sup>, sendo 49,6 nos aluviões e 12,5, correspondendo às reservas renováveis do cristalino.

As disponibilidades atuais de recursos hídricos subterrâneos são representadas pelas vazões extraídas dos poços em funcionamento nos diversos sistemas aquíferos na bacia e são constituídas por águas que, em geral, não apresenta restrição para o consumo humano nem tão pouco para irrigação.

Como as águas subterrâneas representam uma pequena porcentagem do potencial hídrico da Bacia do Rio Piancó, estas possuem pouca relevância para o estudo. Logo, nesta pesquisa, será levada em consideração apenas a hidrologia superficial.

#### 4.1.3.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

O Decreto nº 19.260/97, que regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado da Paraíba, afirma, em seu Artigo 8º, que não será concedida outorga para lançamento na água de resíduos sólidos, radioativos, metais pesados e outros resíduos tóxicos perigosos e para lançamentos de poluentes nas águas subterrâneas. Ainda enfatiza, no Artigo 17, (Parágrafo 4º) que a outorga extingue-se sem qualquer direito de indenização ao usuário caso seja feito uso prejudicial da água, inclusive poluição e salinização. Portanto, no processo de outorga, os parâmetros de qualidade da água são importantes e devem ser alvo de fiscalização por parte das autoridades competentes. Daí a necessidade do estudo desses parâmetros na pesquisa.

Os diversos usos da água numa bacia hidrográfica constituem fator determinante das suas características qualitativas. Isto inclui variações do nível de tolerância às impurezas, concentrações de íons, de sólidos dissolvidos e em suspensão, etc. Em outras palavras, existe uma estreita relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário.

Como a grande maioria dos açudes da Bacia do Rio Piancó é utilizada para fins de abastecimento público, irrigação, dessedentação de animais, preservação da fauna e flora, lavagem de roupa e até mesmo diluição e afastamento de despejos, os aspectos relacionados com a quantidade de água necessária e a qualidade desejada devem ser considerados nos programas de usos múltiplos dos recursos hídricos da bacia.

As águas que escoam pela Bacia do Rio Piancó apresentam-se, em geral, de boa qualidade, ou seja, potabilizável. A Superintendência de Desenvolvimento e Meio Ambiente (SUDEMA) classificou como sendo de Classe 2 (Resolução nº 20, de 15 de junho de 1986 do CONAMA) os açudes da Bacia do Rio Piancó, em função dos usos aos quais os mesmos se destinam. No entanto, os riscos de poluição dessas águas podem ocorrer em virtude dos inadequados serviços de coleta, transporte, tratamento e destino final de esgotos domésticos, despejos industriais e resíduos sólidos. Também a carência e diminuição dos investimentos na área de saneamento podem contribuir para alterações na qualidade das águas das principais fontes de abastecimento da região da bacia.

Com relação à água destinada ao consumo humano, nota-se que, de um modo geral, a água da Bacia do Piancó contém impurezas, que podem estar presentes em maior ou menor quantidade, dependendo da sua procedência. Algumas dessas impurezas decorrem do uso de compostos químicos, que, inclusive, são indispensáveis à água destinada ao consumo humano,

sendo de grande importância fisiológica. No entanto, esses compostos na água podem alcançar valores elevados, causando males ao homem e ao meio ambiente, prejudicando o seu uso.

Os diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados, de uma maneira ampla e simplificada, em termos de características físicas, químicas e biológicas. Essas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água. Os parâmetros mais importantes de qualidade de água dos açudes utilizados para abastecimento público na bacia são mostrados na Tabela 4.6. Verifica-se que são mananciais que apresentam diferentes estágios de preservação, conservação e qualidade ambiental.

Os açudes Serra Vermelha (Conceição), Emas (Emas) e Grossos (Nova Olinda) apresentam valores de coliformes totais dentro do limite máximo (5000 coliformes/100 ml de amostra) estabelecido pela Resolução CONAMA, para a Classe 2, na qual estão inseridas as águas da referida bacia. Há, porém, uma tendência em apresentar concentrações elevadas, o que pode ser um indício de comprometimento da qualidade das águas, como consequência da atividade humana.

**Tabela 4.6** – Parâmetros de qualidade da água de açudes utilizados para abastecimento público da Bacia do Rio Piancó

Município	Açude	pH	Cor (PT-CO) mg/l	Turbidez mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Oxigênio consumido mg/l	Alcalinidade total mg/l	Coliformes total NMP/100 ml
Água Branca	Bom Jesus	7,5	45.0	10.00	26.40	6,8	110	380
Boa Ventura	Riacho Verde	7.5	10.0	1.00	14.96	2.5	170	380
Catingueira	Ameixas	7.2	15.0	3.80	23.04	11.0	300	22
Conceição	Serra Vermelha	7.4	200.0	28.00	20.24	5.5	130	2400
Diamante	Gravatá	8.2	200.0	13.00	0	13.0	95	200
Emas	Emas	6.8	400.0	90.00	17.60	14.0	27	2400
Itaporanga	P. Nazaré	7.5	70.0	10.00	4.40	6.5	56	380
Jurú	Glória	7.6	12.0	5.80	18.45	3.0	74	50
Manaira	Catolé	7.6	5.0	2.00	2.46	11.0	79	50
Nova Olinda	Grossos	7.5	45.0	7.50	3.52	14.0	52	2400
Imaculada	Albino	7.4	40.0	5.00	8.80	6.0	51	88
Olho D'Água	Catingueira	6.8	8.0	1.50	33.44	1.0	10	380
Piancó	Coremas	8.3	15.0	3.50	0	4.5	75	22
Princesa Izabel	Jatobá	7.4	15.0	8.00	5.28	3.5	64	88
S. de Mangueira	Velho / Santana	7.6	30.0	8.50	8.80	3.0	90	380
S.J. de Caiana	Piau	7.5	15.0	8.00	2.64	3.7	55	380
Tavares	Novo	7.7	45.0	18.00	8.80	4.5	78	150
Serra Grande	Cafundó	7.3	7.5	8.10	7.04	7.1	31	380
Aguiar	Frutuoso II	7.4	20.0	24.00	8.80	4.4	70	380

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997)

As águas naturais possuem cor que varia entre 0 e 200 mg Pt/l. Acima disto, já tomam características de águas de brejo ou pântano com altos teores de matéria orgânica dissolvida. No Brasil, aceita-se para água bruta, isto é antes de ser tratada e distribuída em sistemas urbanos, valores de até 75 mg Pt/l de cor (Resolução CONAMA - Classe 2).

Neste caso, como os açudes Serra Vermelha (Conceição), Gravatá (Diamante) e Emas (Emas) apresentam valores de cores superiores ao limite estabelecido são considerados inadequados para tratamento de potabilização.

No entanto, todos os açudes da Bacia do Rio Piancó apresentam valores de pH e turbidez compatíveis com a Resolução, que estabelece uma variação de pH entre 6 e 9 e turbidez máxima de 100 mg/l. Quanto a esses parâmetros, todos os açudes da bacia apresentam valores compatíveis com a Classe 2.

É importante lembrar que, embora seja desejável que as águas destinadas ao consumo humano obedeçam ao disposto pelo CONAMA, com frequência os cursos d'água recebem águas residuárias industriais e esgotos sanitários, muitas vezes sem tratamento. Por isso, o padrão de 5000 coliformes/100 ml é muito difícil de ser atendido, principalmente em cursos d'água e açudes de pequeno volume. Assim, nas diferentes épocas do ano apresentam valores superiores aos máximos admitidos. Também, os parâmetros cor e turbidez, geralmente ultrapassam os padrões de potabilidade no período das chuvas.

Uma fonte de abastecimento deve ser considerada como um ecossistema, cujas características podem variar sazonalmente e também durante o período de utilização. Com relação às águas destinadas à irrigação de plantas frutíferas e legumes, do ponto de vista sanitário, em geral, não necessitam atender a um padrão de qualidade elevado. É suficiente que não contenha substâncias tóxicas ao solo e às plantações. Entretanto, para irrigação de hortaliças, especialmente as que costumam ser consumidas cruas, e também alguns frutos que têm contato com o solo, a água deve atender praticamente aos mesmos requisitos que são exigidos para a água potável. Muitas são as doenças produzidas por vírus, bactérias, protozoários e vermes, e que são transmitidas através das verduras cruas, devido ao uso de águas contaminadas para sua irrigação, bem como para a lavagem das folhas antes de serem transportadas para o mercado.

A Tabela 4.7 apresenta a análise físico-química da água de grandes açudes da região da Bacia do Rio Piancó para fins de irrigação.

**Tabela 4.7** – Análise físico-química da água de grandes açudes da região da Bacia do Rio Piancó para fins de irrigação.

Município	Açude	pH	C.E. µmhos/cm	RAS	mEq/l							
					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Diamante	Gravatá	7,63	225	0.74	0,43	0.80	0.58	0.23	0.00	1.92	0.42	Ausente
Catingueiras	Cachoeiras dos Cegos	7.79	176	0.70	0.65	0.40	0.51	0.14	0.00	1.39	0.35	Ausente
Santana dos Garrotes	Queimadas	8.84	156	0.55	0.53	0.53	0.40	0.13	0.20	1.14	0.25	Ausente
Corremas	Mãe D'Água	7.70	188	0.72	0.70	0.42	0.54	0.14	0.00	1.48	0.47	Ausente
Aguiar	Frutuosa II	7.56	142	0.54	0.52	0.41	0.37	0.11	0.00	1.35	0.22	Ausente
Conceição	Santa Inês	8.45	465	1.00	1.30	2.17	1.32	0.17	0.46	2.54	1.35	Ausente
Curral Velho	Brucas	7.97	440	1.50	1.10	1.35	1.66	0.19	0.34	1.53	2.60	Ausente
Santana de Mangueira	Poço Redondo	8.46	318	0.74	0.95	1.17	0.76	0.13	0.24	1.41	1.45	Ausente
Nova Olinda	Saco	7.92	342	1.21	0.91	0.92	1.16	0.17	0.00	1.71	1.85	Ausente

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997)

Observa-se que na bacia, as águas dos açudes de Gravatá, no Município de Diamante, Cachoeira dos Cegos em Catingueira, Queimadas, localizado em Santana dos Garrotes, Mãe D'Água, em Coremas, e Frutuoso II, no município de Aguiar apresentam condutividade elétrica superior a 100  $\mu\text{mhos/cm}$  e inferior a 250  $\mu\text{mhos/cm}$ , classificada na curva de Riverside com  $C_1$ , o que significa baixo risco de salinidade. Portanto, a água desses açudes é de baixa salinidade e pode, então, ser usada na irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade.

Já as águas dos açudes: Santa Inês (Conceição); Poço Redondo (Santana de Mangueira); Saco (Nova Olinda) e Bruscas (Curral Velho) apresentam condutividade elétrica superior a 250  $\mu\text{mhos/cm}$  e inferior a 750  $\mu\text{mhos/cm}$ , classificada como  $C_2$ , ou seja, médio risco de salinidade. A água é de média salinidade, podendo ser usada para irrigação sempre que haja um grau moderado de lixiviação, sem necessidade no entanto, de práticas especiais de controle.

Porém, a água do açude Santa Inês tem elevado teor de bicarbonato. Isto significa que essa água apresenta um grau moderado de restrição para o uso em sistemas de irrigação que molhem as folhas e frutos, como a aspersão.

Com relação a concentração de sódio em relação a outros cátions, as análises de laboratório revelam que as águas de todos os açudes investigados na Bacia do Rio Piancó apresentam RAS inferior a 3 (sodicidade baixa), significando um baixo risco de solidificação do solo. No tocante à concentração de sódio, a água dos açudes citados é de sodicidade baixa (classe S1) e é, portanto, utilizável sem problemas na maioria dos solos e das plantas.

Portanto, do ponto de vista da condutividade elétrica da água, os açudes investigados na Bacia do Rio Piancó apresentam restrição de baixa a moderada, para o uso na irrigação.

#### **4.1.4 CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS**

A Bacia do Rio Piancó abrange um total de 26 municípios e oito distritos. São eles: Água Branca, Aguiar, Boa Ventura, Cajazeirinhas, Catingueira, Itajubatiba, Conceição, Cardoso, Montevideo, Coremas, Curral Velho, Diamante, Varzante, Emas, Ibiara, Cachoeirinha, Igaracy, Imaculada, Itaporanga, Juru, Manaíra, Nova Olinda, Olho D'Água, Pedra Branca, Piancó, Pombal, Princesa Isabel, São José, Santana de Mangueira, Santana dos Garrotes, São José de Caiana, Serra Grande, Tavares e Várzea Comprida.



Os municípios da bacia possuem uma área de 9.761 km<sup>2</sup>, o que representa 17,32% da área total do Estado. O município de Pombal é o de maior percentual na área da bacia 14,36% (1.402 km<sup>2</sup>), seguido de Conceição com 10,27% (1.002 km<sup>2</sup>) e Piancó com 6,88% (672 km<sup>2</sup>). As áreas desses três municípios somadas representam 31,51% da área total da bacia (3.076 km<sup>2</sup>), portanto, quase um terço (SCIENTEC, 1997).

#### **4.1.4.1 EVOLUÇÃO POPULACIONAL**

De acordo com o Censo Demográfico de 1991, os municípios que compõem a bacia apresentam um contingente populacional de 275.038 pessoas, o que equivale a 8,59% da população total do Estado. Em 1980, esse percentual era de 9,59%. Dessa população total, 113.000 (41,09%) residiam na área urbana, enquanto a grande parte 162.038 (58,91%) se concentrava na zona rural. A densidade demográfica, em 1991, chegava a registrar 28,18 hab/km<sup>2</sup>. Na zona rural, era de 16,60 hab/km<sup>2</sup>, maior do que a registrada para a área urbana (11,58 hab/km<sup>2</sup>) (SCIENTEC, 1997)

Durante o período 1980–1991, verificou-se uma taxa de crescimento demográfico na área da bacia de 0,31% a.a., crescimento esse inferior ao observado no decênio 1970–1980 que foi de aproximadamente 1,00% a.a. Essa tendência à queda da taxa de crescimento tem sido observada nos municípios que compõem a bacia, inclusive com alguns deles registrando taxas negativas, como é o caso de Aguiar, Catingueira, Ibiara, Igaracy, Olho d'Água, Pombal e Santana dos Garrotes (SCIENTEC, 1997).

Muito embora os municípios da bacia apresentem uma característica demográfica eminentemente rural, ou seja, quase 60,00% da população da bacia estão no campo, na última década (1980–1991), ocorreu um substancial incremento da população urbana em relação à população rural. Em 1980, aproximadamente 28,89% da população estavam na área urbana. Já em 1991, esse percentual se elevou para 41,00% (SCIENTEC, 1997).

Essa tendência se verifica nos principais municípios que polarizam as atividades sócio-econômicas da bacia, como Pombal, Conceição, Princesa Isabel e Itaporanga. A população urbana desses municípios, no ano de 1980, representava 38,55%, 30,91%, 25,37% e 48,95%, respectivamente de suas populações totais. Em 1991, esses percentuais já chegavam a 57,2%, 43,11%, 39,58% e 60,09%, respectivamente (SCIENTEC, 1997).

Essa crescente corrida das pessoas da área rural para a área urbana provoca uma série de mudanças na composição e no perfil da população e, por consequência, na estrutura do mercado de trabalho nas cidades.

## **4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO**

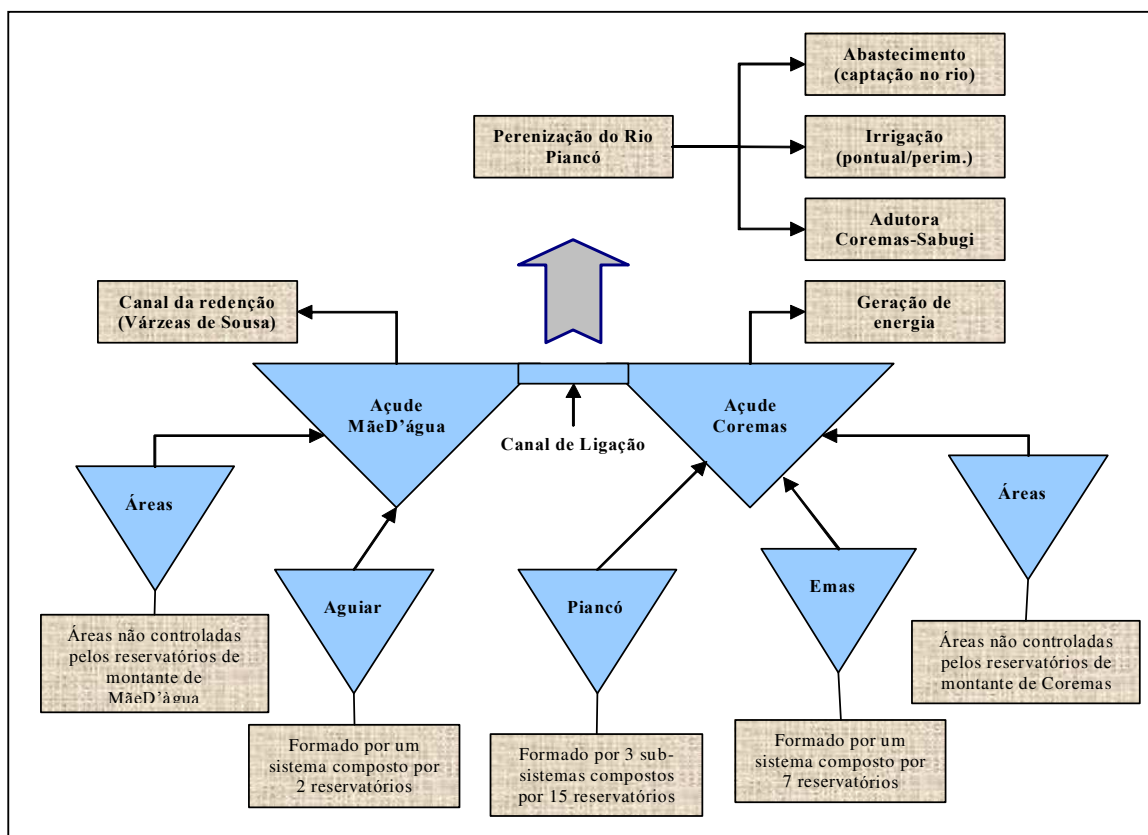
Após apresentar a Bacia do Rio Piancó, enfocando aspectos geofísicos, climatológicos, hidrológicos, sociais, econômicos e demográficos, é feita, a seguir, uma descrição do sistema utilizado neste estudo, levando em consideração o reservatório Coremas-Mãe D'Água e suas áreas de influência, tanto a montante quanto a jusante. Os dados aqui apresentados foram obtidos do estudo realizado por Lima (2004), e serão de grande relevância na aplicabilidade do modelo de outorga aqui proposto.

### **4.2.1 RESERVATÓRIOS DO SISTEMA**

#### **4.2.1.1 A MONTANTE DE COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

A predominância de rios intermitentes na Bacia do Piancó, caracterizados pela alternância de períodos de estiagem com pouquíssimo ou nenhum escoamento, e períodos de cheias, dificulta o processo de outorga na região. O armazenamento de água em reservatório é uma maneira de aproveitar melhor os recursos hídricos e por isso, é um meio bastante utilizado na bacia.

Existem a montante do sistema Coremas Mãe-D'Água três rios principais: o rio Aguiar (contendo 2 reservatórios), o rio Piancó (contendo 15 reservatórios) e o rio Emas (contendo 7 reservatórios), totalizando 24 reservatórios de pequeno, médio e grande portes. Além dessas, não se pode esquecer a contribuição formada pelas áreas não controladas por reservatórios. Uma esquematização do sistema Coremas-Mãe D'Água com seus principais afluentes é mostrada na Figura 4.4.



**Figura 4.4** – Principais afluições do sistema Coremas-Mãe-D'Água  
(Fonte: Lima (2004)).

A Tabela 4.8 apresenta a área correspondente a cada tributário e seu percentual com relação à área total.

**Tabela 4.8** – Dados sobre os tributários a montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água

Tributário	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual da área total (%)
Piancó	2.167,73	24,91
Emas	1.179,87	13,56
Aguiar	63,34	0,73
Área não controlado por reservatórios	5.289,34	60,80
<b>Total</b>	<b>8.700,34</b>	<b>100</b>

Fonte: Lima (2004)

Com relação ao tamanho, entre os 24 reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, apenas dois são considerados de grande porte, quinze de médio porte e sete de pequeno porte, segundo a classificação dada pela Lei Estadual 6.308/97 (item 4.2.3.1). A Tabela 4.9 apresenta a classificação dos açudes por tamanho e os seus volumes máximos.

**Tabela 4.9** – Classificação dos açudes a montante do sistema com relação ao porte

Reservatórios	Classificação	Volume Máximo (hm <sup>3</sup> )
Saco de Nova Olinda	Grande porte	97,49
Cachoeira dos Cegos		80,00
Jenipapeiro	Médio porte	70,76
Poço Redondo		62,75
Canoas		45,56
Bruscas		38,21
Condado		35,02
Santa Inês		26,12
Piranhas		25,70
Queimadas		15,63
Garra		15,44
Timbaúba		15,44
Bom Jesus		14,64
Serra Vermelha I		11,80
Cachoeira dos Alves		10,61
Catolé		10,50
Vazante	9,09	
Tavares	Pequeno porte	6,47
Vidéo		6,04
Jatobá II		4,62
Boqueirão dos Cochos		4,20
Frutuosos II		3,52
Emas		2,01
Glória	1,35	

#### 4.2.1.2 OS RESERVATÓRIOS COREMAS E MÃE D'ÁGUA

Os reservatórios Coremas e Mãe D'Água foram construídos com proximidade suficiente para formar um lago único, com superfície líquida máxima de  $115,6 \times 10^6$  m<sup>2</sup>. O açude Estevam Marinho conhecido como Coremas foi construído através do barramento do Rio Piancó, enquanto que se construiu o açude Mãe D'Água através do barramento do Rio Aguiar. Os reservatórios estão interligados entre si através de um canal vertedor de cota 237 m, com capacidade máxima de transposição de 12 m<sup>3</sup>/s e juntos somam uma capacidade máxima de acumulação de 1,358 bilhões de metros cúbicos e uma bacia hidrográfica de 8.700,34 km<sup>2</sup>, formando a maior reserva hídrica do Estado da Paraíba (Lima, 2004). A Figura 4.5 traz algumas imagens do sistema Coremas Mãe – D'Água.



a) Vista do açude Coremas



b) Vertedor do açude Mãe D'Água sangrando

**Figura 4.5** – Imagens fotográficas do Sistema Coremas- Mãe D'Água em fevereiro de 2004  
Fonte: Sectma (2006)

A demanda hídrica relativa aos usos consuntivos dos reservatórios é caracterizada principalmente por abastecimento humano e animal, irrigação, abastecimento industrial, controle de cheias, perenização de rios e piscicultura. Os usos não consuntivos, são geração de energia elétrica e navegação. As demandas advindas dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água estão apresentadas na Figura 4.4.

A jusante do açude Estevam Marinho está localizada a Usina Hidrelétrica de Coremas, com capacidade instalada de 3,52 MW e vazão mínima de operação de 5,45 m<sup>3</sup>/s. Essa usina, sob administração da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), encontra-se desativada há um período de tempo considerável, devido aos custos de operação elevados em relação às receitas (SCIENTEC, 1997).

Do reservatório Mãe D'Água, deve sair uma vazão de aproximadamente 4,0 m<sup>3</sup>/s transportada pelo Canal da Redenção, para atendimento a demanda de irrigação das Várzeas de Souza com 5.000 ha. A transposição percorre cerca de 37 km do referido reservatório até as cidades de Souza e Aparecida, onde está situado o perímetro. A Figura 4.6 mostra algumas imagens do Canal da Redenção (SCIENTEC, 1997).



a) Saída do Canal da Redenção do açude Coremas



b) Chegada do Canal da Redenção no Perímetro Irrigado

**Figura 4.6** – Imagens fotográficas do Canal da Redenção  
(Fonte: Lima (2004)).



**Capítulo V**  
**O Modelo de Outorga**

## **5 O MODELO DE OUTORGA**

A revisão de literatura apresentada neste estudo mostra a existência de vários modelos para outorga em bacias hidrográficas. Todavia, a grande maioria dos modelos utilizados como suporte para o processo de emissão de outorgas no Brasil baseia-se em técnicas de simulação. Essas técnicas, apesar de utilizadas em vários casos, não são universalmente aplicadas a todas as situações que podem ocorrer em se tratando de outorga de uso de água. Especificamente, para este trabalho, não foi possível a escolha de um modelo já existente, portanto, criar um modelo de outorga que atenda as sub-bacias controladas por reservatórios, e que possua um grau aceitável de complexidade para não ser inviável em sua implantação, tornou-se o desafio maior do estudo.

Tendo como objetivo primordial dessa pesquisa a análise do processo de outorga na Bacia do Rio Piancó, buscou-se criar um modelo que se adequasse às características do sistema e descrevesse situações que pudessem servir de suporte para uma política de gestão na bacia.

### **5.1 TENTATIVAS DE USO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA REPRESENTAR O PROCESSO DE OUTORGA**

Até a obtenção do resultado final do modelo de outorga, muitas tentativas, utilizando modelos e critérios de outorga já existentes na literatura, foram executados, com o intuito de realizar os objetivos propostos neste estudo. Algumas dessas tentativas e as razões pelas quais não foi possível o uso de cada uma delas serão brevemente descritas a seguir.

#### **5.1.1 MODELOS DE SIMULAÇÃO**

Inicialmente buscou-se, para representação do processo de outorga, um modelo de simulação. Escolheu-se o Acquanet, que é um modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) (2002) e baseado no MODSIM32, programa criado por John Labadie na *Colorado State University* (Labadie *et al.*, 1984 e Azevedo *et al.*, 1997). O Acquanet foi escolhido por que, à primeira vista, apresentava características satisfatórias para a realização do estudo, poderia efetuar cálculos de maneira seqüencial no tempo através de simulações contínuas ou estatísticas



considerando um horizonte de simulação, e atribuir prioridades a demandas. Além disso, os reservatórios do sistema estudado poderiam ser trabalhados isoladamente ou de maneira integrada.

Através do Acquanet pôde-se testar alguns critérios para estabelecimento da vazão máxima outorgável: critério baseado em vazão regularizada (classificado como estático onde os valores das vazões são pré-fixados e obtidos através de séries históricas) e critério baseado em quantidade de falhas pré-estabelecidas (classificado como dinâmico onde a alocação da água é otimizada, tentando-se evitar que, em épocas do ano com maior disponibilidade hídrica, restrições ao usuário sejam impostas). Esses critérios foram abordados em maior detalhe no Capítulo III.

#### **5.1.1.1 O MODELO DE SIMULAÇÃO UTILIZANDO VAZÃO REGULARIZÁVEL**

Testou-se, através do uso do Acquanet, o critério de outorga utilizando vazão regularizada com 90% de garantia. Porém, o modelo impedia que a análise de mais de um pedido de outorga fosse realizada para um mesmo reservatório, pois, apesar do Acquanet trabalhar com prioridade de atendimento, não assegurava que as garantias de atendimento às demandas prioritárias fossem mantidas constantes, e, portanto, não conseguia convergir para uma solução viável.

Para melhor compreensão da dificuldade encontrada no uso do Acquanet, imagine que um usuário recebeu autorização de outorga de direito de uso de uma certa quantidade de água com uma garantia de 90%. Outras demandas mais recentes (posteriores a esta), que porventura venham a ser concedidas, devem, primeiro, respeitar o atendimento da demanda anteriormente outorgada, sem comprometê-la. Em outras palavras, a cada nova demanda inserida no modelo, uma nova análise dos pedidos anteriores deve ser feita para todo o horizonte de planejamento e só deve ser alocada a água (caso existir) para essa nova demanda se não houver comprometimento dos pedidos de outorga já concedidos (anteriores), salvo se a demanda for prioritária em relação as já autorizadas. No entanto, isso não ocorre e a principal razão está no fato do modelo de simulação ser *miope*, ou seja, faz a alocação de água para o instante de tempo  $t$  em termos das condições do sistema no instante  $t-1$ . Portanto, com a entrada de um novo pedido de outorga, visto, no Acquanet, como uma nova demanda, mesmo com uma prioridade menor, no mês em que há disponibilidade de água nos reservatórios, são supridos todos os requerimentos de outorga, o que pode prejudicar o atendimento de outorgas

já concedidas em meses subsequentes (ou seja, provoca diminuição da confiabilidade no atendimento de outorgas já concedidas, devido à falta de uma previsão de transferências intra ou inter-anuais).

A princípio imaginou-se que as limitações estariam no Acquanet e tentou-se, ao longo desse estudo, “driblar” de várias maneiras o problema, mas a simulação conseguia realizar, com sucesso, apenas a primeira interação. Optou-se, então, por criar um modelo de simulação em linguagem MatLab e, após algumas versões sem sucesso, concluiu-se que não é possível realizar esse estudo através apenas de um modelo de simulação.

#### **5.1.1.2 MODELO DE SIMULAÇÃO UTILIZANDO VAZÃO EXCEDENTE**

Uma segunda tentativa realizada baseou-se no critério dinâmico de quantidade de falhas pré-determinadas proposto por Pereira e Lanna (1996), em que a vazão excedente do atendimento das demandas prioritárias era distribuída entre aquelas de prioridade inferior. Este método, ao invés de fixar uma vazão de referência, fixa a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade. Neste caso, o usuário ao receber o direito de uso da água fica ciente do risco de não suprimento da sua demanda e, caso ocorram falhas de atendimento, os usos menos prioritários são imediatamente atingidos. Porém, essa metodologia também mostrou-se falha porque, para a bacia estudada, os valores representativos da vazão excedente eram muito pequenos (devido à própria natureza de acumulação do reservatório para transferências intra e inter-anuais no atendimento às demandas outorgadas, o que reduz a variabilidade das vazões outorgáveis, ou seja, vazões excedentes), o que inviabilizava o uso do modelo.

#### **5.1.1.3 MODELO DE SIMULAÇÃO UTILIZANDO VAZÃO REGULARIZADA E EXCEDENTE**

Outra tentativa considerava a junção dos critérios estático e dinâmico. Tentou-se criar um modelo, em linguagem MatLab, onde um valor fixo era estabelecido para outorga a partir da série histórica de aflúncias do reservatório e baseado na vazão regularizada com 90% de garantia (critério estático), no entanto, era calculada uma vazão excedente para ser liberada em cada mês a novos usuários (critério dinâmico). Esse excedente poderia ser variável mês a mês, porém deveria ser limitado, para não comprometer as demandas

prioritárias. Para isso, fixava-se as vazões já outorgadas a cada mês e decidia-se o que mais poderia se outorgar nos outros meses com uma determinada garantia . Essa metodologia também não apresentou resultados satisfatórios, porque, igualmente ao caso anterior, para a Bacia do Rio Piancó as vazões excedentes eram muito pequenas.

Além disso, as duas metodologias citadas anteriormente eram realizadas através de simulações, que, também, apresentavam as limitações já mencionadas.

Portanto, após várias tentativas, pôde-se concluir que a utilização de modelos de simulação para representar o processo de outorga aqui estudado não é adequada.

Apesar de descreverem a operação de sistemas ao longo do tempo e do espaço e de fornecerem informações que permitam a avaliação de comportamento desses sistemas, esses modelos são limitados, por não serem capazes de gerar soluções ótimas. Partindo desse pressuposto, considerou-se a possibilidade de trabalhar com um modelo de otimização, cujos detalhes serão descritos a seguir.

## **5.2 MODELO LINEAR DE OTIMIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE PEDIDO DE OUTORGA**

Como exposto anteriormente, nenhum modelo existente na literatura foi capaz de resolver satisfatoriamente o processo de outorga no sistema estudado. Para o desenvolvimento do modelo de outorga apresentado neste estudo, alguns pontos relevantes foram intensamente discutidos e considerados como base para sua elaboração:

1) a outorga deve ser realizada a partir da contribuição da sub-bacia do reservatório, como mostrado na Figura 5.1;

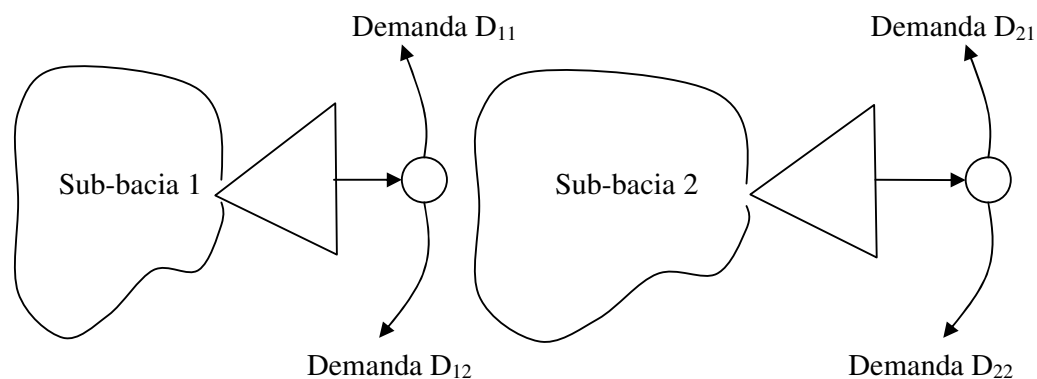
2) o requerimento mensal de vazão para outorga, para cada usuário, pode ser variado, ou seja, pode ser solicitado uma vazão diferente para cada mês. As vantagens para este tipo de modelagem são:

- trabalhar apenas com outorgas de vazões constantes, mês a mês, limita o número de usuários com direito a outorga, principalmente para aqueles que têm diferentes demandas mensais (como, por exemplo, irrigação), pois, caso o usuário não necessite de determinada quantidade de água em um dado mês, esta não poderá ser alocada para um outro usuário, não fazendo melhor uso da

capacidade do reservatório de transferir intra e inter-anualmente água para o atendimento das demandas;

- se a cobrança pelo uso da água, em um futuro próximo, levar em consideração o pagamento, pelos usuários, pela vazão outorgada, mas não utilizada (modelo inibidor de se pedir outorga sem haver real demanda, o que propicia um aumento no atendimento de novos usuários), haverá uma reação no sentido da implantação do modelo aqui proposto. No entanto, se continuar a ser aplicado o sistema tradicional de outorga, este modelo pode se adequar à situação, por permitir, também, atender os requerimentos de vazões mensais iguais;

3) caso a demanda hídrica relativa ao reservatório seja superior a oferta, deve-se procurar o(s) reservatório(s) imediatamente a montante e realizar uma análise para saber se existe possibilidade de uma contribuição via “transferência de outorga” entre sub-bacias. Se ainda assim não for possível, deve-se trabalhar com a possibilidade de utilização de água de reservatórios próximos ao reservatório com déficit.



**Figura 5.1** – Esquematização das bacias de contribuição dos reservatórios

O modelo de outorga proposto neste estudo tem, como importante característica, o fato de poder ser utilizado em sub-bacias controladas por reservatórios. Por ser um modelo linear de otimização, o estudo da garantia de atendimento de uma dada demanda é realizado para toda a série considerada, e a alocação de água, para uma segunda demanda, só é feita caso exista a garantia de atendimento da demanda anterior, criando, assim, um sistema de priorização de atendimento.

O modelo baseia-se na aplicação da equação do balanço hídrico através de uma função objetivo, sujeita a restrições, para diferentes cenários, de acordo com as variáveis de entrada e tem como resposta a garantia de atendimento às demandas solicitadas. A partir dessa garantia, pode-se analisar a viabilidade de concessão da outorga de água para o usuário.

Desenvolvido em ambiente MatLab, o modelo é composto de um programa principal, contendo três funções que merecem destaque.

- Programa principal → Chamado de *outorga* e tem o objetivo de analisar os pedidos de outorga (demandas) solicitados pelo usuário para um dado reservatório. Os dados utilizados pelo programa são obtidos a partir de uma planilha em formato XLS (MS Excel) composta por informações de volume do reservatório, evaporação, afluxos e demandas.
  - ✓ Função 1 → Chamada de *AjustAreaVol*, é responsável pelo ajuste da reta à curva Área × Volume do reservatório, durante o cálculo de seus parâmetros de evaporação;
  - ✓ Função 2 → Denominada de *Garantia*, essa função, como o próprio nome já diz, calcula as garantias mensais e total de atendimento à demanda;
  - ✓ Função 3 → Chamada de *OutOtim*, resolve o problema linear de otimização para análise de pedido de outorga do reservatório.

### 5.2.1 DADOS DO MODELO

Antes de descrever, matematicamente, o modelo desenvolvido, os seguintes dados de entrada são requeridos:

$N$	=	Horizonte de operação em meses
$D(t)$	=	Demanda no mês $t$ (pedido de outorga)
$Q(t)$	=	Volume já outorgado para o mês $t$
$S_0$	=	Armazenamento inicial
$S_{\max}$	=	Armazenamento máximo
$S_{\text{morto}}$	=	Volume mínimo ou morto
$I(t)$	=	Afluxo no mês $t$
$\alpha_1(t)$	=	Prioridade para atender a demanda $D(t)$ ( $\alpha_1(1) > \alpha_1(2) > \dots > \alpha_1(N)$ )
$\alpha_2$	=	Prioridade para minimizar vertimentos + déficits
$e_0(t)$	=	Perda fixa por evaporação no mês $t$
$e(t)$	=	Perda de evaporação por unidade de armazenamento no mês $t$

Os dados de saída do modelo são:

$$\begin{aligned} R(t) &= \text{Alocação no mês } t \text{ (para atender } D(t)) \\ S(t) &= \text{Armazenamento no final do mês } t \\ Sp(t) &= \text{Vertimento no mês } t \\ Def(t) &= \text{Déficit em relação à } S_{\max} \text{ no mês } t \end{aligned}$$

### 5.2.2 FUNÇÃO OBJETIVO DO MODELO

A função objetivo do modelo deve maximizar a alocação de água do reservatório para cada mês  $R(t)$ , ou seja, alocar a água de forma a atender o maior número possível de novas demandas, sem comprometer as demandas já outorgadas. Porém, como o MatLab não trabalha com funções de maximização, considerou-se, para se obter o mesmo resultado, a minimização de  $-R(t)$ . Outro parâmetro utilizado para compor a função objetivo é a minimização da soma dos vertimentos e do déficit hídrico.

A Equação 5.1, a seguir, expressa a função objetivo do modelo de outorga.

$$\min Z = \sum_{t=1}^N [-\alpha_1(t)R(t)] + \alpha_2 \sum_{t=1}^N [Sp(t) + Def(t)]; \quad \alpha_1(1) > \alpha_1(2) > \dots > \alpha_1(N) \quad (5.1)$$

onde  $t$  = índice de tempo (base mensal)

### 5.2.3 RESTRIÇÕES DO MODELO

#### a) Balanço Hídrico

A primeira restrição imposta pelo modelo é o balanço hídrico do sistema. De acordo com Celeste *et al.* (2006), a liberação e o armazenamento em cada período estão relacionados com afluxo e vertimento através da equação do balanço hídrico:

$$\begin{aligned} S(1) &= S_0 + I(1) - E(1) - R(1) - Sp(1) \\ S(t) &= S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5.2)$$

onde

$S_0$  é o armazenamento inicial no reservatório;

$I(t)$  é o volume afluyente durante o mês  $t$ ;

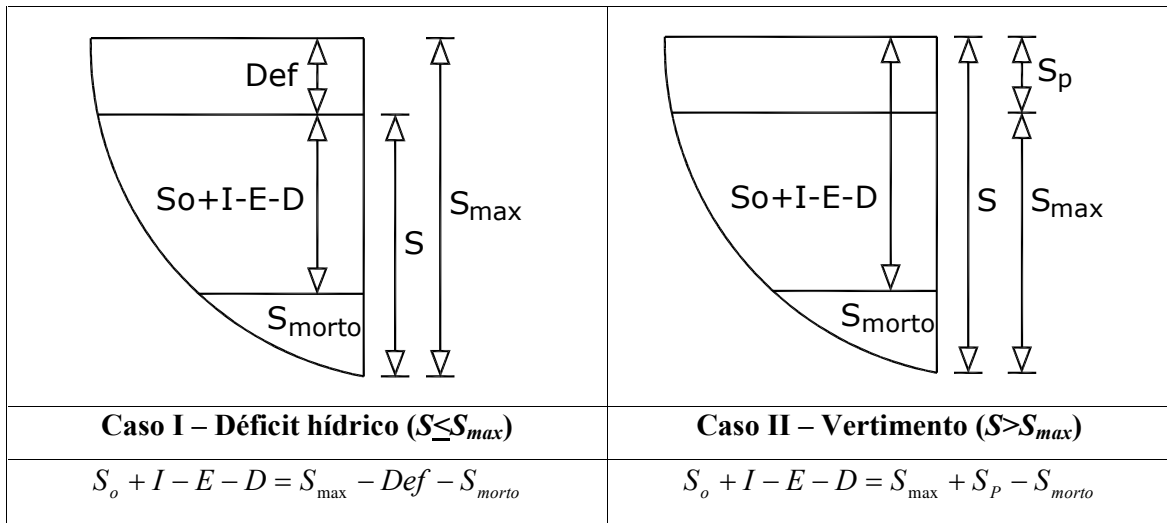
$E(t)$  é o volume evaporado durante o mês  $t$ ; e

$Sp(t)$  é o volume que eventualmente verterá no mês  $t$ .

Para o estudo da outorga considera-se inserido, na equação de balanço hídrico, o volume já outorgado para o mês  $t$  ( $Q(t)$ ). Assim a equação representativa de balanço hídrico passa a ser:

$$\begin{aligned} S(1) &= S_0 + I(1) - E(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \\ S(t) &= S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5.3)$$

A liberação e o armazenamento, em cada período de tempo, também são relacionados com o déficit hídrico e o vertimento, como mostrado na Figura 5.2.



**Figura 5.2** – Esquema dos casos de ocorrência de déficit hídrico e vertimento.

Para o caso I (déficit hídrico), o volume armazenado é menor que o máximo, logo pode-se afirmar que o volume vertido para este caso é igual a zero. No caso II (vertimento), o volume a ser armazenado supera o volume máximo, ocorrendo o vertimento, logo, para este caso o déficit hídrico é igual a zero. Portanto, o vertimento e o déficit nunca serão, simultaneamente, diferentes de zero, ou seja, quando um ocorrer, o outro necessariamente será zero.

A Equação (5.4) descreve a inserção desses parâmetros no modelo.

$$\begin{aligned} S_0 + I(1) - E(1) - D(1) &= S_{máx} - Def(1) + Sp(1) \\ S(t-1) + I(t) - E(t) - D(t) &= S_{máx} - Def(t) + Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5.4)$$

As limitações físicas do sistema definem intervalos aos quais liberações, armazenamentos, vertimentos e déficits hídricos devem pertencer. Essas limitações geram mais algumas restrições ao sistema. São elas:

### **b) Demanda**

Entre as restrições que deverão ser consideradas no modelo está a de alocação de água. De acordo com essa restrição, a alocação de água, em um dado mês, não poderá ser negativa e nem maior que a demanda  $D(t)$  (pedido de outorga). A Equação (5.5) abaixo descreve essa restrição:

$$0 \leq R(t) \leq D(t); \quad \forall t \quad (5.5)$$

### **c) Volume**

A Equação (5.6) considera os limites inferior e superior para o volume do reservatório no mês  $t$ . Segundo a equação, esse volume deverá ser sempre maior ou igual ao volume morto ( $S_{morte}$ ) e menor ou igual ao armazenamento máximo ( $S_{max}$ ). Esta equação induz a ocorrência de vertimento.

$$S_{dead} \leq S(t) \leq S_{max}; \quad \forall t \quad (5.6)$$

### **d) Déficit hídrico**

A restrição relacionada com o déficit hídrico no mês  $t$  em relação ao volume máximo do reservatório está representada pela Equação (5.7). De acordo com a equação esse déficit não poderá ser inferior a zero.

$$Def(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (5.7)$$

### **e) Vertimento**

A última restrição do sistema refere-se ao vertimento do reservatório no mês  $t$ . Igualmente ao déficit, o vertimento também não poderá ser inferior a zero. A Equação (5.8) traz essa restrição:



$$Sp(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (5.8)$$

Portanto, o vertimento e o déficit ocorrerão ou não segundo as regras da Equação (5.9). Essas regras estão esquematizadas na Figura 5.2.

$$\begin{cases} R(t) \leq D(t) \text{ e } S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) \leq S_{\max} \Rightarrow Sp(t) = 0 \\ R(t) = D(t) \text{ e } S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) > S_{\max} \Rightarrow Sp(t) = S(t-1) + I(t) - E(t) - Q(t) - D(t) - S_{\max} \end{cases} \quad (5.9)$$

A evaporação pode ser escrita como uma função da área média no início e final do intervalo de tempo atual e expressa através da Equação (5.10):

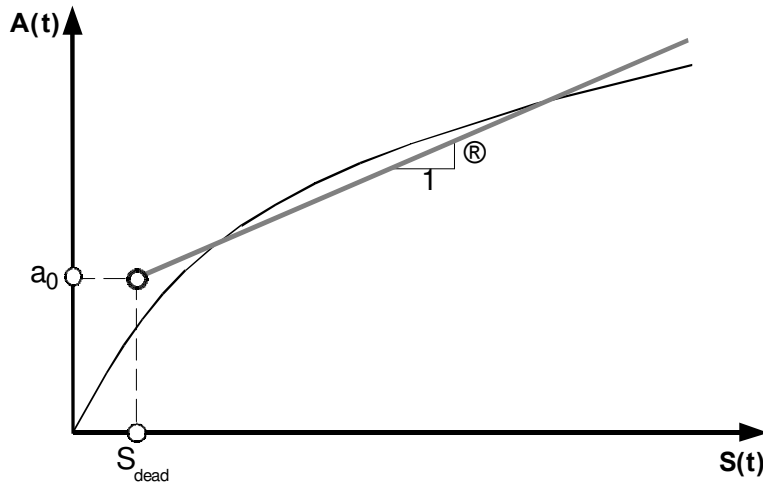
$$E(t) = \varepsilon(t) \left[ \frac{A(t-1) + A(t)}{2} \right] \quad (5.10)$$

em que  $\varepsilon(t)$  e  $A(t)$  são, respectivamente, a taxa de evaporação durante o mês  $t$  e a área da superfície líquida no final do mês  $t$ .

A relação área-volume do reservatório pode, por sua vez, ser aproximada linearmente por:

$$A(t) = a_0 + \alpha[S(t) - S_{\text{morto}}] \quad (5.11)$$

onde  $a_0$  é a área definida pela reta para o volume morto ( $S_{\text{dead}}$ ) e  $\alpha$  é a declividade da reta (Figura 5.3).



**Figura 5.3** – Linearização da curva área-volume

(Fonte: Celeste *et al.*, 2006)

Combinando as Equações (5.10) e (5.11) tem-se a seguinte expressão para a evaporação em função do armazenamento médio, no início e no final do intervalo de tempo atual:

$$E(t) = e_0(t) + e(t) \left[ \frac{S(t-1) + S(t)}{2} \right] \quad (5.12)$$

na qual  $e_0(t)$  é a perda fixa por evaporação e  $e(t)$  é a perda de evaporação por unidade de volume, dadas por:

$$e_0(t) = (a_0 - \alpha S_{\text{monto}}) \varepsilon(t) \quad (5.13)$$

e

$$e(t) = \alpha \varepsilon(t) \quad (5.14)$$

Inserindo o valor de  $E(t)$  da Equação (5.11) nas expressões (5.3) e (5.4), pode-se chegar às formas das Equações (5.15) e (5.16) do balanço hídrico, respectivamente:

$$\begin{aligned} \left[ 1 + \frac{e(1)}{2} \right] S(1) &= \left[ 1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 + I(1) - e_0(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \\ \left[ 1 + \frac{e(t)}{2} \right] S(t) &= \left[ 1 - \frac{e(t)}{2} \right] S(t-1) + I(t) - e_0(t) - R(t) - Q(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5.15)$$

e

$$\begin{aligned} \left[ 1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 - \frac{e(1)}{2} S(1) + I(1) - D(1) - Q(1) - e_0(1) &= S_{\text{máx}} - Def(1) + Sp(1) \\ \left[ 1 - \frac{e(t)}{2} \right] S(t-1) - \frac{e(t)}{2} S(t) + I(t) - D(t) - Q(t) - e_0(t) &= S_{\text{máx}} - Def(t) + Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5.16)$$

#### 5.2.4 MODELAGEM DO PROGRAMA EM LINGUAGEM MATLAB

Para que fosse possível a montagem do modelo em linguagem Matlab, utilizou-se uma função interna do programa chamada de *linprog* que tem o objetivo de resolver problemas de programação linear. Essa função é estruturada da seguinte forma:  $\min_x f^T x$ ,

tal que

$$A.x \leq b$$

$$lb \leq x \leq ub$$

$$Aeq . x = beq$$

onde  $f$ ,  $x$ ,  $b$ ,  $beq$ ,  $lb$ , e  $ub$  são vetores e  $A$  e  $Aeq$  são matrizes.

Como se pode ver, para compor a função foram definidas as variáveis do programa baseadas no modelo descrito nas sessões anteriores. Essas variáveis estão definidas na Equação (5.17):

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_N \\ x_{N+1} \\ \vdots \\ x_{2N} \\ x_{2N+1} \\ \vdots \\ x_{3N} \\ x_{3N+1} \\ \vdots \\ x_{4N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(1) \\ \vdots \\ R(N) \\ S(1) \\ \vdots \\ S(N) \\ Sp(1) \\ \vdots \\ Sp(N) \\ Def(1) \\ \vdots \\ Def(N) \end{bmatrix} \left. \begin{array}{l} \} \\ \} \\ \} \\ \} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Alocação} \\ \text{Armazenamento} \\ \text{Vertimento} \\ \text{Déficit} \end{array} \quad (5.17)$$

A função objetivo representada pela Equação (5.1) é escrita na forma da Equação (5.18):

$$Z = \sum_{t=1}^N [-\alpha_1(t)R(t)] + \alpha_2 \sum_{t=1}^N [Sp(t) + Def(t)] = \underbrace{\begin{bmatrix} -\alpha_1(1) \\ \vdots \\ -\alpha_1(N) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_2 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{f}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} R(1) \\ \vdots \\ R(N) \\ S(1) \\ \vdots \\ S(N) \\ Sp(1) \\ \vdots \\ Sp(N) \\ Def(1) \\ \vdots \\ Def(N) \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}} \quad (5.18)$$

Seguindo a definição do *linprog*, a função objetivo está sujeita a algumas limitações. A primeira delas ( $A \cdot x \leq b$ ) é a desigualdade. Essa restrição não foi considerada, visto que o modelo não possui nenhuma desigualdade.

A segunda refere-se aos limites do vetor  $x$  ( $lb \leq x \leq ub$ ). Esses limites ficam definidos através das restrições impostas pelo modelo de outorga (Item 5.3.2) e podem ser escritas de acordo com a Equação (5.19):

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ S_{\text{morto}} \\ \vdots \\ S_{\text{morto}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \leq \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_N \\ x_{N+1} \\ \vdots \\ x_{2N} \\ x_{2N+1} \\ \vdots \\ x_{3N} \\ x_{3N+1} \\ \vdots \\ x_{4N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(1) \\ \vdots \\ R(N) \\ S(1) \\ \vdots \\ S(N) \\ Sp(1) \\ \vdots \\ Sp(N) \\ Def(1) \\ \vdots \\ Def(N) \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} D(1) \\ \vdots \\ D(N) \\ S_{\text{max}} \\ \vdots \\ S_{\text{max}} \\ \infty \\ \vdots \\ \infty \\ \infty \\ \vdots \\ \infty \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

A terceira restrição refere-se à montagem da expressão  $Aeq \cdot x = beq$ . Como a função objetivo do modelo de outorga, representada pela Equação (5.1), é composta de duas partes, dividiu-se também a montagem de  $Aeq \cdot x = beq$  em duas partes. Para compôr a primeira

parte da matriz  $Aeq$  e o vetor  $beq$ , tem-se, de acordo com a Equação (5.15) para os meses de 1 até  $N$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[1 + \frac{e(1)}{2}\right]S(1) = \left[1 - \frac{e(1)}{2}\right]S_0 + I(1) - e_0(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \\ \left[1 + \frac{e(2)}{2}\right]S(2) = \left[1 - \frac{e(2)}{2}\right]S(1) + I(2) - e_0(2) - R(2) - Q(2) - Sp(2) \\ \vdots \\ \left[1 + \frac{e(N)}{2}\right]S(N) = \left[1 - \frac{e(N)}{2}\right]S(N-1) + I(N) - e_0(N) - R(N) - Q(N) - Sp(N) \end{array} \right. \quad (5.20)$$

Separando os dados de entrada e saída do modelo, a Equação (5.20) torna-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} R(1) + \left[1 + \frac{e(1)}{2}\right]S(1) + Sp(1) = \left[1 - \frac{e(1)}{2}\right]S_0 + I(1) - e_0(1) - Q(1) \\ R(2) - \left[1 - \frac{e(2)}{2}\right]S(1) + \left[1 + \frac{e(2)}{2}\right]S(2) + Sp(2) = I(2) - e_0(2) - Q(2) \\ \vdots \\ R(N) - \left[1 - \frac{e(N)}{2}\right]S(N-1) + \left[1 + \frac{e(N)}{2}\right]S(N) + Sp(N) = I(N) - e_0(N) - Q(N) \end{array} \right. \quad (5.21)$$

Reorganizando todos os dados na forma de matriz, obtém-se a Equação (5.22)

$$\left\{ \begin{array}{l} R(1) \\ R(2) \\ R(3) \\ \vdots \\ R(N) \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} + \left[ 1 + \frac{e(1)}{2} \right] S(1) \\ - \left[ 1 - \frac{e(2)}{2} \right] S(1) + \left[ 1 + \frac{e(2)}{2} \right] S(2) \\ - \left[ 1 - \frac{e(3)}{2} \right] S(2) + \left[ 1 + \frac{e(3)}{2} \right] S(3) \\ \vdots \\ - \left[ 1 - \frac{e(N)}{2} \right] S(N-1) + \left[ 1 + \frac{e(N)}{2} \right] S(N) \end{array} \right. + \left\{ \begin{array}{l} Sp(1) \\ Sp(2) \\ Sp(3) \\ \vdots \\ Sp(N) \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} \left[ 1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 + I(1) - e_0(1) - Q(1) \\ I(2) - e_0(2) - Q(2) \\ I(3) - e_0(3) - Q(3) \\ \vdots \\ I(N) - e_0(N) - Q(N) \end{array} \right. \quad (5.22)$$

Separando os coeficientes e as variáveis da Equação (5.22), pode-se escrever a primeira parte da matriz  $Aeq$  e do vetor  $beq$  como:

$$\underbrace{\left[ \begin{array}{cccccccc} 1 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & \\ & & 1 & & & & & \\ & & & \ddots & & & & \\ & & & & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & \\ & & & & & & & 1 \\ & & & & & & & & 0 \end{array} \right]}_{Aeq - I} \cdot \underbrace{\left[ \begin{array}{l} R(1) \\ R(2) \\ R(3) \\ \vdots \\ R(N) \\ S(1) \\ S(2) \\ S(3) \\ \vdots \\ S(N) \\ Sp(1) \\ Sp(2) \\ Sp(3) \\ \vdots \\ Sp(N) \\ Def(1) \\ Def(2) \\ Def(3) \\ \vdots \\ Def(N) \end{array} \right]}_{\mathbf{x}} = \underbrace{\left[ \begin{array}{l} \left[ 1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 + I(1) - e_0(1) - Q(1) \\ I(2) - e_0(2) - Q(2) \\ I(3) - e_0(3) - Q(3) \\ \vdots \\ I(N) - e_0(N) - Q(N) \end{array} \right]}_{\mathbf{beq} - I} \quad (5.23)$$

Da mesma forma, para compor a segunda parte Matriz  $[Aeq]$  e vetor  $[beq]$  tem-se, de acordo com a Equação (5.16), para os meses de 1 até  $N$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[ 1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 - \frac{e(1)}{2} S(1) + I(1) - D(1) - Q(1) - e_0(1) = S_{\max} - Def(1) + Sp(1) \\ \left[ 1 - \frac{e(2)}{2} \right] S(1) - \frac{e(2)}{2} S(2) + I(2) - D(2) - Q(2) - e_0(2) = S_{\max} - Def(2) + Sp(2) \\ \vdots \\ \left[ 1 - \frac{e(N)}{2} \right] S(N-1) - \frac{e(N)}{2} S(N) + I(N) - D(N) - Q(N) - e_0(N) = S_{\max} - Def(N) + Sp(N) \end{array} \right. \quad (5.24)$$

Separando os dados de entrada e saída do modelo, a Equação (5.24) torna-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{e(1)}{2} S(1) - Sp(1) + Def(1) = -\left[ 1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 + S_{\max} + D(1) - I(1) + Q(1) + e_0(1) \\ + \left[ 1 - \frac{e(2)}{2} \right] S(1) - \frac{e(2)}{2} S(2) - Sp(2) + Def(2) = S_{\max} + D(2) - I(2) + Q(2) + e_0(2) \\ \vdots \\ + \left[ 1 - \frac{e(N)}{2} \right] S(N-1) - \frac{e(N)}{2} S(N) - Sp(N) + Def(N) = S_{\max} + D(N) - I(N) + Q(N) + e_0(N) \end{array} \right. \quad (5.25)$$

Logo, separando os coeficientes e as variáveis da Equação (5.25) obtém-se a segunda parte da matriz  $Aeq$  e do vetor  $beq$  pela Equação (5.26), na página seguinte.





Finalmente, após definidas as partes I e II a equação final terá a forma:

$$\begin{bmatrix} Aeq - I \\ Aeq - II \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} beq - I \\ beq - II \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

Finalizando todo o processo descrito, tem-se como resposta a otimização de um único pedido de outorga. Para compor o modelo com mais pedidos, deve-se levar em consideração, que para cada novo pedido de outorga realizado, a alocação anterior deverá ser descontada. Assim, após concluído o processo de modelagem, pode-se rodar o programa para diversos cenários de outorga.

É importante ressaltar que o modelo aqui proposto realiza o estudo dos reservatórios individualmente. As análises do sistema com reservatórios em série e em paralelo, objetivos da pesquisa, serão trabalhadas a nível de usuário e utilizando os resultados obtidos nas análises individuais através do modelo de outorga.

### 5.2.5 FLUXOGRAMA DO MODELO DE OUTORGA

O fluxograma do modelo linear de otimização para avaliação de pedido de outorga está representado na Figura 5.4.

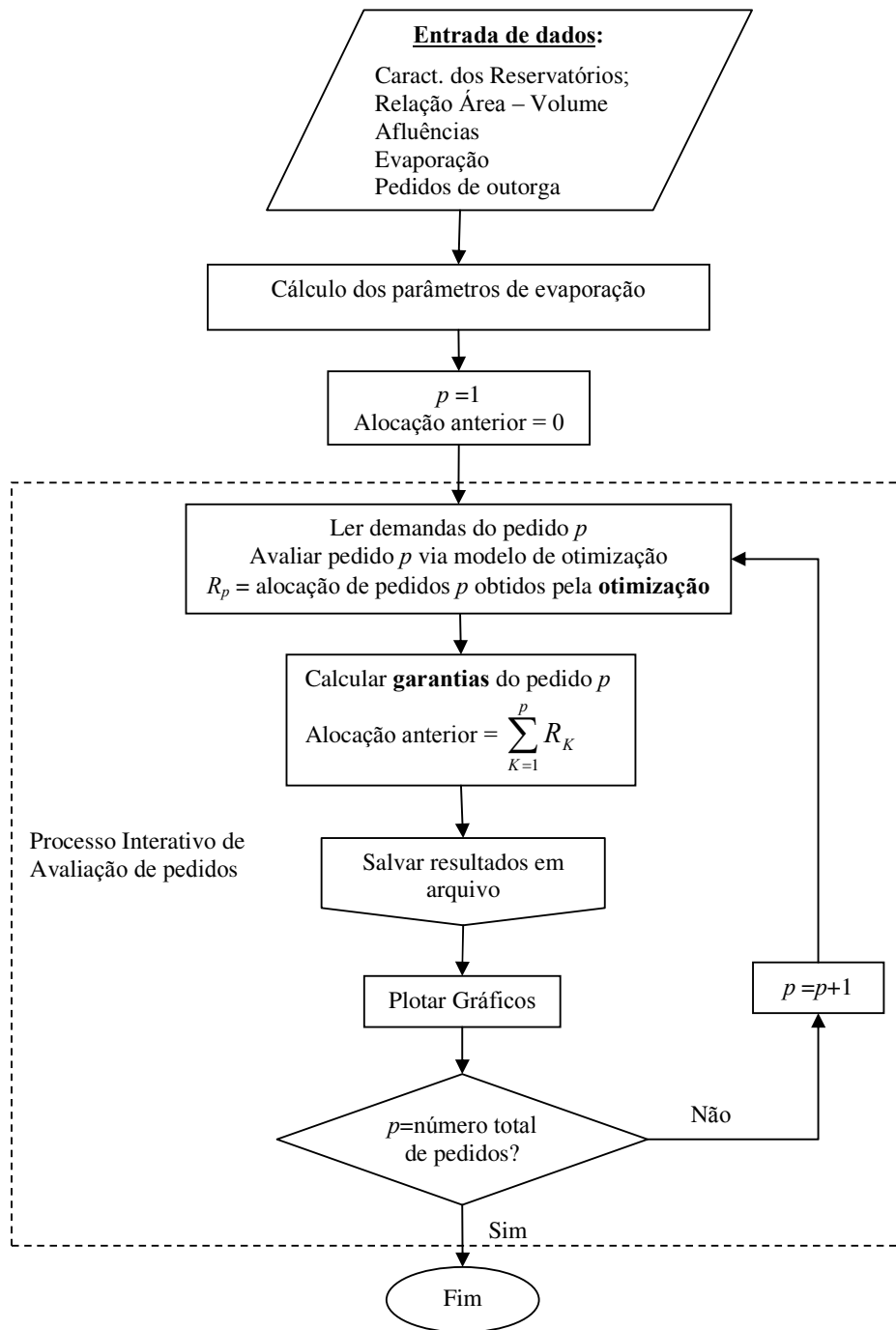


Figura 5.4 – Fluxograma do modelo de outorga.

A black and white photograph capturing a dynamic moment of water being poured into a glass. The water is shown in mid-pour, creating a central column that splashes outwards, forming a crown-like shape. The background is a soft, out-of-focus grey, which makes the clear water stand out. The lighting highlights the texture and movement of the liquid.

**Capítulo VI**  
**Coleta de Dados**

## **6 COLETA DE DADOS**

Os dados necessários para viabilizar o uso do modelo de otimização na análise de outorga na Bacia do Rio Piancó serão apresentados a seguir. Apesar de já ter sido concluída a versão mais recente do PDRH/PB, desde março de 2006, ainda não foi disponibilizado para consultas. Portanto, a principal fonte de obtenção dos dados foi o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PSRH/PB) (SCIENTEC, 1997), além da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAPB) e outras instituições governamentais, através de resoluções e documentos oficiais.

### **6.1 DADOS DE EVAPORAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS**

O processo de evaporação pode ser baseado tanto na perda de água de uma superfície evaporante para a atmosfera (evaporímetros), como também na perda de água de uma superfície livre (tanques evaporimétricos) para a atmosfera. Devido a simplicidade, os tanques evaporimétricos têm ampla aplicação na hidrologia. No Brasil, o tanque Classe A é o mais utilizado. A evaporação medida em tanques evaporimétricos é maior do que aquela em lagos/reservatórios e para compensar essa diferença é utilizado um coeficiente de correção que normalmente situa-se entre 0,70 e 0,80 (Paiva e Paiva, 2003). Neste estudo utilizou-se o valor como coeficiente de correção o valor 0,75.

Para esta pesquisa, foram considerados os dados de evaporação média mensal do posto climatológico de Coremas devido à sua proximidade com os reservatórios utilizados no estudo. Os valores médios mensais do Posto de Coremas extraídos do PDRH/PB são fornecidos na Tabela 4.1 apresentada no Capítulo 4.

### **6.2 DADOS DE VAZÕES AFLUENTES**

As vazões afluentes aos reservatórios da bacia foram obtidas do PDRH/PB (SCIENTEC, 1997). Utilizou-se o modelo hidrológico de chuva  $\times$  vazão MODHAC (Modelo Hidrológico Auto Calibrável), através de uma abordagem determinística conceitual, para gerar uma série pseudo-histórica a partir de dados de precipitação média diária de 57 anos (1933 a 1989). O MODHAC é uma versão aperfeiçoada do Modelo Hidrológico para o Trópico do Semi-Árido (MOHTSAR), aplicável às bacias de regimes semi-árido do Nordeste do Brasil e também

àquelas de clima temperado úmido (Lanna e Marwell, 1986 *apud* SCIENTEC, 1997). Para este estudo, foi realizada a calibração do MODHAC, com dados de 1964 a 1985 e de 1975 a 1985, do posto fluviométrico de Piancó (código: 37360000).

Apesar das séries geradas para a maioria dos reservatórios estudados terem uma extensão de 57 anos, alguns reservatórios possuíam apenas 53 anos. Assim, para uniformizar os dados, utilizou-se, nesta pesquisa, o intervalo de 53 anos (1933 a 1985). Exceção se faz aos reservatórios de Coremas e Mãe D'Água que, por não haver dados disponíveis, a afluência foi obtida através da soma das vazões médias mensais dos três tributários (Emas, Piancó e Aguiar), ligados ao sistema correspondente a uma série de 11 anos de vazão, de acordo com estudo realizado por Oliveira (1998).

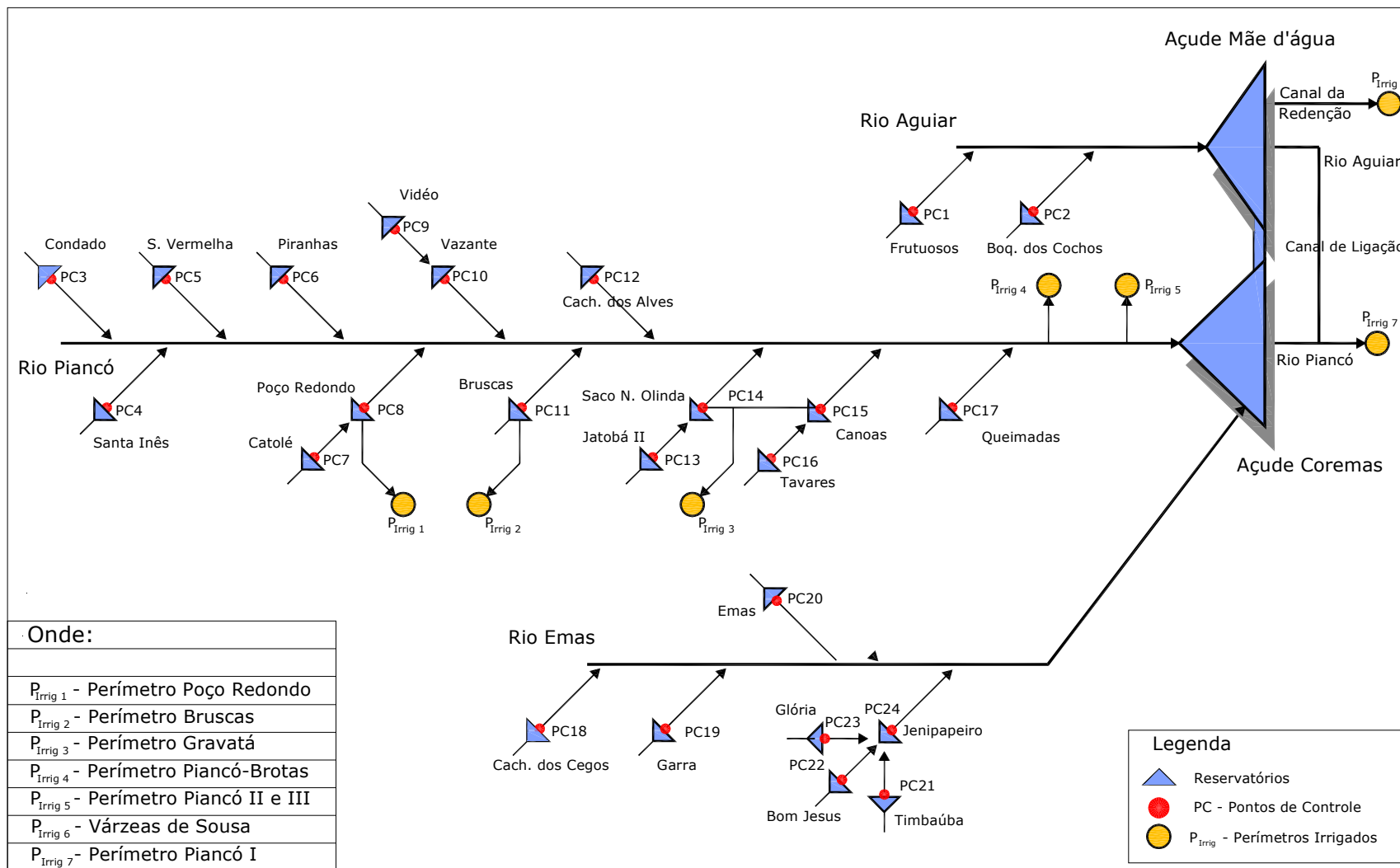
## **6.3 DADOS TÉCNICOS DOS RESERVATÓRIOS**

### **6.3.1 DEFINIÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE**

Os pontos de controle (PC) são locais na bacia de captação hídrica para sistemas de irrigação existentes ou projetados, locais de captação para abastecimento de indústrias existentes ou previstas, captações para abastecimento de cidades e povoados, açudes existentes ou projetados e confluências de rios. Através dessa representação simplificada, supõe-se que o uso da água seja feito apenas nos pontos específicos da rede de drenagem. A bacia torna-se, então, uma junção de sub-bacias sendo cada sub-bacia relacionada a um ponto de controle que é identificado por ordem numérica (Paiva, 2001).

Além de PC's, diferentes definições são adotadas para designar os trechos de gerenciamento de uma bacia, "*seções hidrológicas de referência – SHR*", "*pontos característicos*", "*pontos notáveis*" e "*pontos de referência*" (Cruz, 2005).

Consideraram-se, neste estudo, os exutórios dos reservatórios como sendo os pontos de controle de montante do sistema Coremas-Mãe D'Água. Esses PC's foram enumerados um a um de montante para jusante do sistema, como esquematizado na Figura 6.1.



**Figura 6.1** – Definição dos pontos de controle a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água (Baseado em Lima (2004)).

A descrição desses pontos de controle por reservatório, além de dados de volumes máximo e mínimo, área da bacia hidráulica e área da bacia hidrográfica, obtidos do PDRH/PB (SCIENTEC, 1997), constam na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1** – Dados técnicos dos reservatórios de montante do sistema Coremas-Mãe D'Água

Rio	Pontos de Controle (PC)	Reservatórios	Volumes (hm <sup>3</sup> )		Área Bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )	Bacia Hidráulica (ha)
			Max	Min		
Aguiar	01	Frutuoso II	3,52	0,352	12,50	63,97
	02	Boq. dos Cochos	4,20	0,420	56,50	116,0
Piancó	03	Condado	35,01	3,501	127,56	310,28
	04	Santa Inês	26,11	2,611	103,91	259,00
	05	Serra Vermelha I	11,80	1,180	57,46	151,21
	06	Piranhas	25,69	2,569	199,59	234,20
	07	Catolé	10,50	1,050	132,51	136,00
	08	Poço Redondo	62,75	6,275	325,76	459,95
	09	Vídeo	6,04	0,604	23,44	108,50
	10	Vazante	9,09	0,909	118,83	133,80
	11	Bruscas	38,20	3,820	228,70	306,26
	12	Cachoeira dos Alves	10,61	1,061	112,20	208,51
	13	Jatobá II	6,49	0,649	64,16	118,26
	14	Saco N. Olinda	97,48	9,748	288,40	640,77
	15	Canoas	45,55	4,555	125,21	240,95
	16	Tavares	6,47	0,647	53,51	58,29
	17	Queimadas	36,85	3,685	206,49	264,00
Emas	18	Cachoeira dos cegos	80,00	8,000	283,64	1.165,00
	19	Garra	15,44	1,544	84,89	178,40
	20	Emas	2,01	0,201	40,96	97,30
	21	Timbaúba	15,47	1,547	84,89	201,19
	22	Bom Jesus	14,64	1,464	119,62	146,60
	23	Glória	1,35	0,135	38,52	26,34
	24	Jenipapeiro	70,00	7,000	402,59	692,65

### 6.3.2 CURVAS COTA × ÁREA × VOLUME

Para possibilitar a elaboração das curvas cota × área × volume utilizadas pelo programa proposto neste estudo, foi necessário obter a relação cota × área × volume de todos os reservatórios do sistema. Essa relação encontra-se disponível no Cadastro de Açude do Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias do Alto Piranhas e Piancó (SCIENTEC, 1997).

## **6.4 DEMANDAS OUTORGADAS**

Para um melhor entendimento das demandas outorgadas no sistema, subdividiu-se o estudo em demandas atuais e futuras, ambas analisadas no sistema Coremas-Mãe D'Água, a sua montante e jusante.

### **6.4.1 DEMANDAS ATUAIS DE MONTANTE**

A montante do sistema Coremas-Mãe D'Água são observadas três demandas passíveis de outorga: abastecimento urbano, irrigação e piscicultura. Essas demandas estão descritas a seguir.

#### **6.4.1.1 ABASTECIMENTO HUMANO**

Analisando a parte a montante do sistema, dezesseis reservatórios possuem pedidos de outorgas destinadas ao abastecimento urbano. Foram consideradas como atuais as demandas de cada reservatório, com base nos dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA/PB (2002) projetada para o ano de 2007.

Muitas vezes a evolução do crescimento populacional depende das incertezas de fatores econômicos, políticos, sociais, climáticos e outros. Um fenômeno relativamente comum em cidades de pequeno porte é a diminuição da população e, conseqüentemente, da demanda hídrica ao longo dos anos. Neste caso, é prudente que se trabalhe, no mínimo, com a demanda atual. A Tabela 6.2 traz o detalhamento das outorgas concedidas para abastecimento em cada reservatório. Essas demandas foram consideradas constantes, ou seja, distribuídas igualmente para todos os meses do ano.

De acordo com dados da AESA, além das demandas citadas, alguns municípios também solicitam, através da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), ou de sua própria Prefeitura, outros pedidos de outorga para atendimento a demandas de abastecimento. Porém, esses pedidos de outorga são feitos para poços, que entram na categoria de água subterrânea, não comprometendo as disponibilidades hídricas dos reservatórios. A análise da outorga em águas subterrâneas não será alvo deste estudo.



**Tabela 6.2** – Outorgas concedidas para abastecimento urbano por reservatório

Fonte Hídrica	Município Abastecido	Requerente de outorga	Vazão outorgada (2002) Q(m <sup>3</sup> /s)	Projeção da Vazão outorgada (2007) Q(m <sup>3</sup> /s)
Boqueirão dos Cochos	Iguaracy	CAGEPA	0,009	0,010
Frutuoso II	Aguiar	CAGEPA	0,005	0,005
Piranhas	Ibiara	CAGEPA	0,005	0,005
Serra Vermelha I	Conceição	CAGEPA	0,031	0,031
Poço Redondo	Santana de Mangueira	CAGEPA	0,003	0,003
Catolé	Manaíra	CAGEPA	0,011	0,011
Cachoeira dos Alves	Itaporanga	CAGEPA	0,044	0,047
Bruscas	Curral Velho	PREFEITURA	0,002	0,002
Saco N. Olinda	Nova Olinda	CAGEPA	0,007	0,007
Jatobá II	Princesa Isabel	CAGEPA	0,046	0,046
Queimadas	Santana dos Garrotes	CAGEPA	0,007	0,007
Emas	Emas	CAGEPA	0,004	0,004
Cachoeira dos Cegos	Catingueira	CAGEPA	0,004	0,004
Jenipapeiro	Olho D'Água	CAGEPA	0,006	0,006
Bom Jesus	Água Branca	CAGEPA	0,006	0,006
Glória	Juru	CAGEPA	0,009	0,009
<b>Total</b>			<b>0,199</b>	<b>0,201</b>

Fonte: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA/PB (2006)

#### 6.4.1.2 IRRIGAÇÃO

Para o estudo das demandas de irrigação a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, consideraram-se dois tipos de pedidos de outorga: a outorga para irrigação difusa e as outorgas para perímetro irrigado. As outorgas aqui chamadas de difusas correspondem àqueles pedidos para pequenas áreas irrigadas distribuídas ao longo da bacia, e as outorgas para os perímetros irrigados são aquelas que abrangem grandes áreas de cultivo. Para as culturas difusas, utilizaram-se dados obtidos através da AESA/PB dos pedidos de outorga a partir do ano 2000, levando em consideração que pedidos mais antigos tem prioridade de atendimento em relação a pedidos mais recentes e que as demandas para irrigação de culturas permanentes também teriam prioridade sobre aqueles pedidos para irrigação de culturas temporárias, desde que feitos na mesma data. A Tabela 6.3 traz o detalhamento dos pedidos de outorga para irrigação difusa nos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água.

De acordo com informações dadas pela AESA/PB, mesmo para irrigação de culturas temporárias é concedido o direito de uso da demanda para todo o ano. Logo, tanto para culturas temporárias, como para permanentes adotou-se um valor constante para todos os meses.

**Tabela 6.3** – Outorgas concedidas para irrigação difusa a montante do sistema

OUTORGA		EMPREENHIMENTO		IRRIGAÇÃO	
Data	Ano	Município	Fonte Hídrica	Culturas	Consumo (m <sup>3</sup> /s)
18/set	2000	Diamante	Vazante	coco	0,0039
15/fev	2000	Catingueira	Cach. dos Cegos	coco, manga	0,0039
17/mai	2000	Catingueira	Cach. dos Cegos	coco	0,0022
21/set	2002	Catingueira	Cach. dos Cegos	feijão, milho e melancia	0,0058
13/mar	2000	Curral Velho	Bruscas	batata-doce	0,0011
17/mai	2004	Conceição	Vidéo	manga	0,0042
8/mai	2005	Conceição	Vidéo	manga	0,0042
8/jun	2005	Conceição	Vidéo	manga	0,0042
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	fruteiras	0,0028
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0069
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	feijão	0,0064
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	fruteiras, feijão e capim	0,0083
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce e fruteiras	0,0086
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	feijão e batata-doce	0,0033
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata e feijão	0,0089
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	feijão	0,0022
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce e mamão	0,0131
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	feijão e batata-doce	0,0086
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata, milho e feijão	0,0067
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0086
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce e fruteiras	0,0086
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	capim e milho	0,0103
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	feijão, capim e milho	0,0067
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0064
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce e capim	0,0081
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata, banana e feijão	0,0047
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce e feijão	0,0067
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0086
31/jan	2005	Jurú	Timbaúba	capim	0,0028
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0075
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0089
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce e frutas diversas	0,0025
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata e feijão	0,0092
31/mai	2005	Jurú	Timbaúba	batata-doce	0,0086

Fonte: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA/PB

Por não se dispor de dados com relação a irrigação dos grande perímetros, utilizou-se, como base para este estudo, o trabalho realizado por Lima (2004), no qual foram considerados seis perímetros irrigados a montante dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, com área total de aproximadamente 4.500 ha. A partir das aptidões agrícolas e dos sistema de irrigação existentes nos perímetros, o autor desenvolveu um plano de cultivo e, através do programa de otimização ORNAP (Curi e Curi, 1999), obteve as demandas hídricas mensais para irrigação

desses perímetros. As principais características técnicas dos projetos de irrigação encontram-se na Tabela 6.4.

Lima (2004) considerou a distribuição das áreas dos perímetros irrigados como sendo 70% para culturas perenes e 30% para culturas sazonais (temporárias), com exceção do perímetro de Piancó II, onde toda área foi alocada para culturas sazonais.

**Tabela 6.4** – Características técnicas dos projetos de irrigação

Projeto	Fonte Hídrica	Área (ha)	Culturas previstas	Sistema de Irrigação
Piancó II	Rio Piancó	1000	Arroz, feijão, banana, milho, tomate, cenoura, pimentão, algodão e amendoim	Aspersão Convencional, Pivô central
Piancó III	Rio Piancó	1000	Manga, coco, graviola, mamão, melancia, maracujá, limão, melão, feijão, abóbora, pimentão e algodão	Aspersão Convencional, Microaspersão
Piancó-Brotas	Rio Piancó	500	Manga, coco, graviola, mamão, melancia, melão, feijão, banana, tomate e algodão	Aspersão Convencional, Inundação
Bruscas	Riacho Bruscas	500	Manga, acerola, goiaba, repolho, melancia, melão, feijão, banana, Jerimum e algodão	Aspersão Convencional
Gravatá	Açudes Saco de Nova Olinda e Canoas	934	Arroz, feijão, tomate, algodão, milho, melancia, melão, amendoim e banana	Aspersão Sulco e Inundação
Poço Redondo	Açude Poço Redondo	500	Manga, coco, graviola, mamão, melancia, melão, feijão, banana, tomate e algodão.	Aspersão Convencional

Fonte: Lima (2004)

As culturas de algodão, feijão, milho, melancia, melão, cebola, tomate, cenoura e pimentão foram consideradas por Lima (2004) como temporárias e as culturas de banana, manga, coco, graviola, goiaba, pinha, mamão e maracujá, como perenes ou semi-perenes.

Apesar de possuir a área estimada e as vazões para irrigação, foi necessário separar a alocação de água para culturas sazonais e perenes, visto que as prioridades de atendimento de pedidos de outorga para cada cultura são distintas. Utilizou-se, portanto, a média ponderada, a partir de dados atuais obtidos de Lima (2004), e, dessa forma, sabendo-se as vazões atuais mês a mês, área e o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para as culturas sazonal e perene, determinou-se o quanto de vazão foi alocada para cada cultura, a partir da Equação (6.1):

$$Q_c(i,t) = Q_{mes}(t) \frac{K_c(i,t)A_{irrig}(i)}{\sum (K_c(i,t)A_{irrig}(i))} \quad (6.1)$$

onde:

- $i$  – Cultura
- $t$  – Mês

- $Q_c(i,t)$  – Vazão para cada cultura  $i$  no mês  $t$   
 $Q_{mes}(t)$  – Vazão total no mês  $t$   
 $K_c(i,t)$  – Coeficiente de cultivo da cultura  $i$  no mês  $t$   
 $A_{irrig}(i)$  – Área irrigada da cultura  $i$

As demandas hídricas mensais dos perímetros irrigados a montante dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e utilizadas para este estudo, como demandas outorgadas atuais, estão mostradas na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5** – Demandas mensais dos perímetros irrigados a montante de Coremas-Mãe D'Água

Meses	Tipo de Cultura	Demandas por Perímetro Irrigado (m <sup>3</sup> /s)					
		Poço Redondo	Bruscas	Gravatá	Piancó II	Piancó III	Piancó-Brotas
Janeiro	Perene	0,1995	0,147	0,2737	---	0,2933	0,147
	Sazonal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fevereiro	Perene	0,1295	0,000	0,000	---	0,000	0,000
	Sazonal	0,0555	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Março	Perene	0,000	0,000	0,000	---	0,000	0,000
	Sazonal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Abril	Perene	0,0658	0,0854	0,1589	---	0,1701	0,0854
	Sazonal	0,0282	0,0366	0,0681	0,344	0,0729	0,0366
Maio	Perene	0,1197	0,1099	0,2058	---	0,2198	0,1099
	Sazonal	0,0513	0,0471	0,0882	0,000	0,0942	0,0471
Junho	Perene	0,1358	0,0903	0,168	---	0,1799	0,0903
	Sazonal	0,0582	0,0387	0,072	0,000	0,0771	0,0387
Julho	Perene	0,161	0,2002	0,3738	---	0,4004	0,2002
	Sazonal	0,069	0,0858	0,1602	0,607	0,1716	0,0858
Agosto	Perene	0,2044	0,2751	0,5145	---	0,5509	0,2751
	Sazonal	0,0876	0,1179	0,2205	1,000	0,2361	0,1179
Setembro	Perene	0,2254	0,2639	0,4928	---	0,5278	0,2639
	Sazonal	0,0966	0,1131	0,2112	0,749	0,2262	0,1131
Outubro	Perene	0,2499	0,2856	0,3234	---	0,5705	0,2856
	Sazonal	0,1071	0,1224	0,1386	0,897	0,2445	0,1224
Novembro	Perene	0,2219	0,1855	0,3465	---	0,371	0,1855
	Sazonal	0,0951	0,0795	0,1485	0,000	0,159	0,0795
Dezembro	Perene	0,2051	0,0826	0,154	---	0,1659	0,0833
	Sazonal	0,0879	0,0354	0,066	0,000	0,0711	0,0357
<b>Vazão média (m<sup>3</sup>/s)</b>		0,221	0,200	0,349	0,300	0,400	0,200
<b>Área perímetros (ha)</b>		500	500	934	1000	1000	500
<b>Custo unitário médio (l/ha)</b>		0,44	0,40	0,37	0,30	0,40	0,40

Como o modelo proposto neste estudo trabalha com reservatórios, os perímetros irrigados ao longo do Rio Piancó (Piancó-Brotas, Piancó II e Piancó III) foram considerados como demandas dos reservatórios mais próximos a jusante destes perímetros. Logo, os

reservatórios Coremas e Mãe D'Água ficarão responsáveis pela irrigação dos perímetros Piancó-Brotas, Piancó II e III.

#### 6.4.1.3 PISCICULTURA

A prática da criação de peixes (piscicultura) tem sido bastante realizada em açudes e, algumas vezes, é considerada como um de seus usos principais (Molle e Cadier, 1992). Porém, segundo Gisler *et al.* (2005), empreendimentos de piscicultura podem alterar a qualidade da água do corpo hídrico e, portanto, devem ser submetidas ao regime de outorga.

Segundo informações obtidas na AESA/PB, a emissão de outorga de água para piscicultura na Bacia do Piancó tem sido realizada com cautela, levando-se em consideração, na análise de pedidos de outorga, a questão da qualidade da água.

As demandas hídricas destinadas à piscicultura nos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, obtidas através de dados da AESA/PB, estão detalhadas a seguir, na Tabela 6.6. Igualmente à irrigação, foram utilizados dados de outorga para piscicultura a partir do ano 2000, também priorizando pedidos mais antigos em detrimento de pedidos mais recentes.

**Tabela 6.6** – Outorgas concedidas para piscicultura a montante de Coremas-Mãe D'Água

OUTORGA		EMPREENDIMENTO		PISCICULTURA		
Data	Ano	Município	Fonte Hídrica	Área viveiro (ha)	Número Viveiros	Consumo (m³/s)
4/jul	2000	Nova Olinda	Barr. Saco/Canoa	7	13	0,0233
26/fev	2000	St. Garrotes	Açude Queimadas	1	---	0,0144
13/mar	2001	Aguiar	Aç. Frutuoso II	---	33	0,2400
31/mai	2001	Itaporanga	Cachoeira dos Alves	10	26	0,0172
24/set	2004	Conceição	Açude Condado	20	50	0,0010
5/dez	2005	Condado	Açude Condado	15	21	0,0010

#### 6.4.2 DEMANDAS ATUAIS DO SISTEMA COREMAS - MÃE D'ÁGUA E DE JUSANTE

Como as barragens do sistema Coremas-Mãe D'Água foram construídas pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), órgão federal, compete ao governo federal o direito de outorgar as águas acumuladas nos reservatórios. Neste caso, o órgão responsável pela análise dos pedidos de outorga nos reservatórios é a Agência Nacional

de Águas (ANA), conforme dispõe a Lei Federal nº 9.984/2000, podendo esse órgão delegar poderes de outorga a AESA, órgão estadual.

Os dados referentes às demandas do sistema de reservatórios Coremas - Mãe D'Água, e também de jusante do sistema basearam-se na Resolução nº 687 da ANA, de 03 de dezembro de 2004, que dispõe sobre o Marco Regulatório para a gestão do Sistema Coremas–Açu, e estabelece parâmetros e condições para a emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos e declaração de usos insignificantes.

O referido documento divide o Sistema Coremas-Açu em trechos, listados de montante para jusante, como:

- I. Trecho nº 1: Coremas.** Corresponde ao perímetro da bacia hidráulica dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água. Trecho localizado integralmente no Estado da Paraíba;
- II. Trecho nº 2: Rio Piancó.** Corresponde ao trecho do Rio Piancó, desde a barragem do reservatório Coremas até a sua confluência com o Rio Piranhas. Trecho localizado integralmente no Estado da Paraíba;
- III. Trecho nº 3: Rio Piranhas – PB.** Corresponde ao trecho do Rio Piranhas, a partir da confluência com o Rio Piancó até a divisa geográfica dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Trecho localizado integralmente no Estado da Paraíba;
- IV. Trecho nº 4: Rio Piranhas – RN.** Corresponde ao trecho do Rio Piranhas, a partir da divisa geográfica dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte até a bacia hidráulica do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves. Trecho localizado integralmente no Estado do Rio Grande do Norte;
- V. Trecho nº 5: Armando Ribeiro Gonçalves.** Corresponde ao perímetro da bacia hidráulica do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves. Trecho localizado integralmente no Estado do Rio Grande do Norte; e

**VI. Trecho nº 5: Rio Açu.** Corresponde ao trecho do Rio Açu, a partir da barragem do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves até o paredão de lajes, no município de Pendências – RN. Trecho localizado integralmente no Estado do Rio Grande do Norte.

A parte que cabe a este estudo corresponde aos trechos de nº1 ao nº3, que se inicia no sistema Coremas-Mãe D'Água e no Rio Piranhas, ou seja, a bacia hidráulica dos reservatórios Coremas e Mãe-D'Água e toda a sua jusante dentro do Estado da Paraíba, que cobre os Rios Piancó e Piranhas .

Por não se dispor de dados sobre as outorgas propriamente ditas concedidas no sistema Coremas-Mãe D'Água, utilizou-se a vazão disponível para cada uso, adotada na Resolução nº 687. Além disso, como o modelo para análise de outorga de uso da água, proposto neste estudo, trabalha apenas com sistemas de vazões controladas e a jusante do sistema não são considerados reservatórios, considerou-se que as demandas de jusante sairiam dos reservatórios mais próximos, neste caso, o sistema Coremas-Mãe D'Água.

Foram considerados os reservatórios Coremas e Mãe D'Água como um único sistema. Para tal, utilizou-se a capacidade dos reservatórios juntos até o limite da cota do canal de ligação (273 m), correspondente a um volume útil de 702,20 hm<sup>3</sup>. As demandas passíveis de outorga no sistema Coremas-Mãe D'Água e a jusante desse sistema foram: abastecimento urbano, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros e piscicultura. Outras demandas existentes no sistema não foram descritas, por serem muito pequenas e conseqüentemente isentas de outorga.

A Tabela 6.7 traz um levantamento das vazões disponíveis para outorga, ligadas diretamente ao sistema Coremas-Mãe D'Água e a jusante do sistema, segundo a Resolução da ANA nº 687.

Com o intuito de avaliar o potencial de atendimento do sistema, considerou-se, também, como demanda ligada ao sistema a vazão de 4,0 m<sup>3</sup>/s, correspondente ao consumo para irrigação das Várzeas de Souza, a vazão de 1,5 m<sup>3</sup>/s correspondente à demanda de abastecimento para atendimento ao Estado do Rio Grande do Norte, conforme disposto no Artigo 11 da Resolução nº 687 e a vazão de 0,5 m<sup>3</sup>/s refere à demanda para irrigação do perímetro de Piancó I.

**Tabela 6.7** – Vazões disponíveis para outorga no Sistema Coremas-Mãe D’Água e a jusante segundo a Resolução da ANA nº 687.

Trecho	Finalidades	Vazão máxima disponível (m <sup>3</sup> /s)
Coremas (nº 1)	Abastecimento difuso	0,010
	Adutoras	0,099
	Irrigação difusa	0,096
	Irrigação em Perímetros	1,875
	Indústria	0,000
	Piscicultura	0,013
	<b>Total trecho 1</b>	<b>2,093</b>
Rio Piancó (nº 2)	Abastecimento difuso	0,024
	Adutoras	0,717
	Irrigação difusa	0,900
	Irrigação em Perímetros	0,500
	Indústria	0,000
	Piscicultura	0,020
	<b>Total trecho 2</b>	<b>2,161</b>
Rio Piranhas – PB (nº 3)	Abastecimento difuso	0,024
	Adutoras	0,254
	Irrigação difusa	1,839
	Irrigação em Perímetros	0,000
	Indústria	0,004
	Piscicultura	0,025
	<b>Total trecho 3</b>	<b>2,146</b>
Total Paraíba		<b>6,400</b>

Fonte: Resolução ANA nº 687/04

Logo, depois de acrescentadas na Tabela 6.10 as demandas acima descritas, tem-se, como mostradas na Tabela 6.8, as vazões consideradas como outorgadas e utilizadas neste estudo, correspondente a parte que engloba o sistema Coremas-Mãe D’Água e sua jusante.

**Tabela 6.8** – Vazões máximas disponíveis para outorga no Sistema Coremas-Mãe D’Água e a jusante

Trecho	Finalidades	Vazão Máxima Disponível (m <sup>3</sup> /s)
Coremas (nº 1)	Abastecimento difuso	0,010
	Adutoras	0,099
	Irrigação difusa	0,096
	Irrigação em Perímetros	5,875
	Indústria	0,000
	Piscicultura	0,013
	<b>Total trecho 1</b>	<b>6,093</b>
Rios Piancó e Piranhas (nº 2 e nº 3)	Abastecimento difuso	1,548
	Adutoras	0,971
	Irrigação difusa	2,739
	Irrigação em Perímetros	1,000
	Indústria	0,004
	Piscicultura	0,045
<b>Total trechos 2 e 3</b>	<b>4,161</b>	
<b>Total</b>		<b>12,400</b>



### 6.4.3 DEMANDAS FUTURAS A MONTANTE

#### 6.4.3.1 ABASTECIMENTO HUMANO

Com o objetivo de analisar o comportamento dos reservatórios individualmente e integrados ao sistema e promover subsídios para garantir a sustentabilidade das demandas já outorgadas e ao atendimento de novas demandas, bem como a proteção do sistema, foi realizado o cálculo das demandas futuras para abastecimento humano, nos reservatórios de montante destinados à esse fim, considerando duas projeções – dez e vinte anos (2017 e 2027), visto que as outorgas realizadas na Paraíba têm validade normalmente de dez anos e as realizadas pela federação vinte anos.

Para a realização dos cálculos de demanda hídrica necessita-se conhecer a população futura que se espera encontrar nos anos projetados e, a partir de então, é feita uma estimativa do consumo de água. Duas categorias de consumidores fizeram parte da estimativa populacional: os consumidores rurais dispersos em pontos difusos da bacia e os urbanos concentrados nos municípios.

Em vista de o crescimento populacional ser um fenômeno de grande complexidade e dependente de incertezas de fatores econômicos, políticos e sociais, vários métodos têm sido utilizados na literatura, para estimar numericamente a população futura. Dentre estes métodos estão os estatísticos, os gráficos e os determinísticos. Alguns deles são baseados em experiências passadas, destacando-se os processos de crescimento aritmético, geométrico e logístico, os quais pressupõem que o aumento da população em função do tempo siga uma progressão aritmética, geométrica e a curva logística, respectivamente. Outros métodos, também são comumente utilizados, são os de equações linear, parabólica, logarítmica e exponencial, e os processos empíricos ou de extrapolação gráfica (SCIENTEC, 1997).

Os estudos realizados por Câmara (2000) e Lima (2004) utilizam o modelo geométrico para estimar o crescimento populacional na Bacia do Rio Piancó. Este será o método utilizado neste trabalho também.

O modelo geométrico pressupõe que a população de determinada cidade cresça segundo uma projeção geométrica e que seguirá a mesma tendência nos anos subsequentes. Portanto, tendo como base dois dados de população  $P_1$  e  $P_2$  nos anos  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente, calcula-se a razão  $r$  de crescimento através da Equação (6.2):

$$r = \sqrt[t_2 - t_1]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \quad (6.2)$$

Logo, a partir do cálculo da razão  $r$ , pode-se obter a previsão da população  $P$ , correspondente à data futura  $t$  segundo a Equação (6.3):

$$P = P_0 (1 + r)^{t - t_0} \quad (6.3)$$

onde:  $P_0$  = população no tempo  $t_0$  e  $t_0$  = data inicial

Para o cálculo do crescimento populacional na Bacia do Piancó, utilizaram-se dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) dos anos de 1991 e 2000. As populações rurais e urbanas dos municípios da bacia estão na Tabela 6.9.

**Tabela 6.9** – Dados populacionais dos municípios da Bacia do Piancó

Reservatórios	Municípios Atendidos pelos reservatórios	Área (km <sup>2</sup> )	Populações segundo IBGE (hab)			
			1991		2000	
			Rural	Urbana	Rural	Urbana
Boqueirão dos Cochos	Iguaracy	192	2.761	2.993	2.768	3.539
Frutuoso II	Aguiar	345	5.470	1.789	3.437	2.201
Piranhas	Ibiara	244	3.573	3.010	2.834	3.549
Serra Vermelha I	Conceição	579	13.264	9.952	7.659	10.272
Catolé	Manaira	353	8019	3356	5.667	4.806
Cachoeira dos Alves	Itaporanga	468	7.929	11.885	6.434	14.689
Bruscas	Curral Velho	181	1.791	746	1.213	1.345
Saco de Nova Olinda	Nova Olinda	84	3.893	2.305	3.288	3.169
Jatobá II	Princesa Isabel	368	13.424	8.810	6.830	11.401
Queimadas	Santana dos Garrotes	354	5.643	2.421	4.210	3.672
Emas	Emas	241	1.992	1.137	1.537	1.524
Cachoeira dos cegos	Catingueira	529	3.138	2.061	2.209	2.539
Jenipapeiro	Olho D'água	596	6.889	2.220	4.336	3.495
Bom Jesus	Água Branca	221	6.118	2.085	5.207	3.170
Glória	Juru	403	7.879	2.644	6.179	3.866
Poço Redondo	Santana de Mangueira	402	5.357	1.144	3.923	1.850

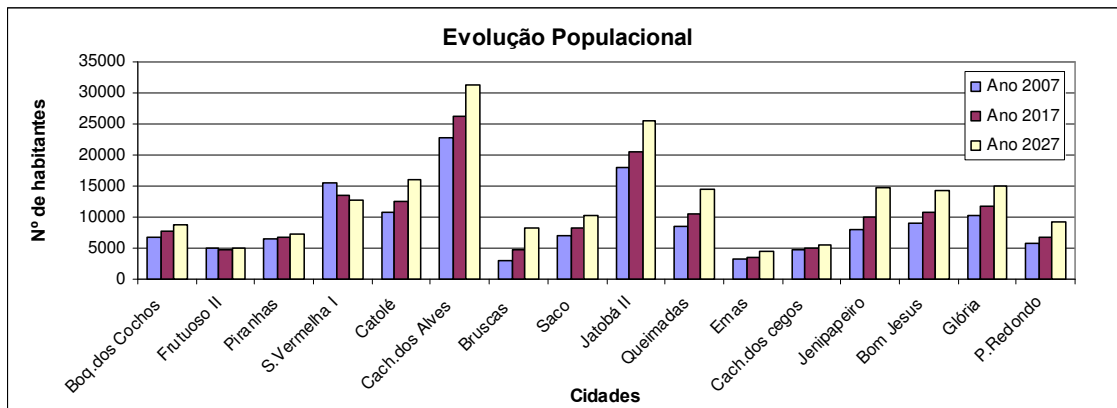
Fonte: IBGE (<http://www.ibge.gov.br>)

Na Tabela 6.10 são apresentadas as projeções populacionais (Eq. 6.3) dos municípios da Bacia do Piancó para os horizontes de 2017 e 2027.

**Tabela 6.10 – Projeção das populações dos municípios da Bacia do Piancó**

Reservatórios	Municípios Atendidos pelos reservatórios	População estimada (hab)			
		2017		2027	
		Rural	Urbana	Rural	Urbana
Boqueirão dos Cochos	Iguaracy	2.781	4.857	2.789	5.851
Frutuoso II	Aguiar	1.429	3.256	853	4.099
Piranhas	Ibiara	1.829	4.844	1.414	5.817
Serra Vermelha I	Conceição	2.714	10.905	1.475	11.295
Catolé	Manaíra	2.942	9.471	2.000	14.115
Cachoeira dos Alves	Itaporanga	4.336	21.916	3.438	27.731
Bruscas	Curral Velho	581	4.095	377	7.883
Saco de Nova Olinda	Nova Olinda	2.390	5.782	1.981	8.235
Jatobá II	Princesa Isabel	1.906	18.554	900	24.708
Queimadas	Santana dos Garrotes	2.421	8.065	1.748	12.812
Emas	Emas	942	2.650	706	3.670
Cachoeira dos cegos	Catingueira	1.138	3.765	771	4.747
Jenipapeiro	Olho D'água	1.808	8.236	1.081	13.637
Bom Jesus	Água Branca	3.840	6.994	3.210	11.141
Glória	Juru	3.904	7.924	2.980	12.085
Poço Redondo	Santana de Mangueira	2.178	4.586	1.541	7.824

A Figura 6.2 mostra o gráfico da evolução populacional dos municípios estudados na Bacia do Piancó, para os anos 2007, 2017 e 2027.



**Figura 6.2 – Evolução populacional das cidades estudadas na Bacia do Piancó.**

De posse dos dados de crescimento populacional, obteve-se a estimativa do consumo de água, para abastecimento dos municípios da bacia, baseado no consumo médio por habitante adotado pela CAGEPA, e que é de 100 l/hab/dia, para populações rurais. Para populações urbanas, varia segundo o número de habitantes, como mostra a Tabela 6.11.

**Tabela 6.11** – Demanda hídrica urbana por número de habitantes segundo a CAGEPA

Demanda hídrica (l/hab/dia)	Número de habitantes
100	≤ 10.000
120	De 10.000 até 100.000
150	De 100.000 até 300.000
200	De 300.000 até 500.000
250	> 500.000

Finalmente, as demandas hídricas de abastecimento obtidas para os horizontes de 2017 e 2027, nos municípios estudados, são mostradas na Tabela 6.12.

**Tabela 6.12** – Projeções das demandas hídricas para abastecimento na Bacia do Rio Piancó

Reservatórios	Municípios Atendidos pelos reservatórios	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /s)					
		2017			2027		
		Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total
Boqueirão dos Cochos	Iguaracy	0,004	0,007	0,011	0,004	0,008	0,012
Fruitoso II	Aguiar	0,001	0,003	0,004	0,001	0,004	0,005
Piranhas	Ibiara	0,001	0,004	0,005	0,001	0,005	0,006
Serra Vermelha I	Conceição	0,005	0,020	0,025	0,003	0,020	0,023
Catolé	Manaira	0,003	0,010	0,013	0,002	0,015	0,017
Cachoeira dos Alves	Itaporanga	0,009	0,045	0,054	0,007	0,057	0,064
Bruscas	Curral Velho	0,000	0,003	0,004	0,000	0,006	0,006
Saco de Nova Olinda	Nova Olinda	0,003	0,006	0,009	0,002	0,009	0,011
Jatobá II	Princesa Isabel	0,005	0,048	0,052	0,002	0,063	0,066
Queimadas	Santana dos Garrotes	0,002	0,007	0,009	0,002	0,011	0,013
Emas	Emas	0,001	0,003	0,005	0,001	0,005	0,006
Cachoeira dos cegos	Catingueira	0,001	0,003	0,004	0,001	0,004	0,005
Jenipapeiro	Olho D'água	0,001	0,006	0,008	0,001	0,011	0,011
Bom Jesus	Água Branca	0,003	0,005	0,008	0,002	0,008	0,010
Glória	Juru	0,003	0,007	0,011	0,003	0,011	0,013
Poço Redondo	Santana de Mangueira	0,001	0,002	0,004	0,001	0,004	0,005

### 6.4.3.2 IRRIGAÇÃO

Com relação à demanda de irrigação difusa, como não foi possível a obtenção de dados que propiciassem uma projeção dessas demandas, para o horizonte de 10 e 20 anos, optou-se, neste estudo, por considerá-las constantes, até porque deve-se partir do princípio de que os irrigantes dispõem da vazão outorgada por um longo período de tempo, e que, após vencido do prazo, a outorga pode ainda ser renovada através de um requerimento do usuário.

Para as demandas de irrigação dos perímetros de montante, como já haviam sido consideradas nas demandas atuais as áreas máximas possíveis de irrigação, não foram realizadas modificações. No entanto, observou-se que, no estudo das demandas atuais, os

reservatórios Poço Redondo e Canoas, destinados ao atendimento dos perímetros de Poço Redondo e Gravatá, respectivamente, foram considerados com suas capacidades atuais. Com o intuito de avaliar a capacidade de atendimento desses reservatórios às demandas hídricas, inclusive de irrigação, alteraram-se seus volumes para as capacidades de projeto.

A Tabela 6.13 traz os reservatórios destinados ao atendimento da demanda de irrigação de perímetros irrigados e os respectivos volumes considerados no estudo das demandas atuais e futuras.

**Tabela 6.13** – Projeções dos volumes dos reservatórios destinados a atender a demanda de irrigação dos perímetros

Reservatórios	Perímetros irrigados	Volumes (hm <sup>3</sup> )	
		Atual	Concluído
Poço Redondo	Poço Redondo	10,00	62,75
Canoas	Gravatá	10,00	45,55
Bruscas	Bruscas	38,20	38,20
Saco	Gravatá	97,48	97,48

#### 6.4.3.3 PISCICULTURA

Também para piscicultura, igualmente ao observado quanto à demanda de irrigação difusa, não foi possível obter dados que propiciassem sua projeção para os horizontes de 10 e 20 anos. Optou-se, então, por considerar essas demandas constantes, visto que as outorgas concedidas à piscicultura, como nos demais usos, podem ter prazo de validade de até 20 anos.

#### 6.4.4 DEMANDAS FUTURAS DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA E A JUSANTE

Como os dados das demandas atuais, ligadas diretamente ao sistema Coremas-Mãe D'Água e de sua jusante, foram extraídos da Resolução N° 687 da ANA, e esse documento considera, para todos os usos, o limite máximo de concessão de vazão outorgável, utilizaram-se, os valores adotados no estudo das demandas atuais, para as demandas de abastecimento, irrigação difusa e em perímetros irrigados, indústria, piscicultura e adutora tanto do sistema Coremas-Mãe D'Água como de jusante.

A high-speed, black and white photograph of water being poured into a glass. The water is captured in mid-air, creating a dynamic splash with many small droplets and a central column of water. The background is a soft, out-of-focus grey.

**Capítulo VII**  
**Metodologia Aplicada ao Estudo**

## **7 METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO**

Um dos objetivos deste estudo é verificar a viabilidade da aplicação do modelo proposto aqui, na prática da outorga em bacias cujos sistemas sejam baseados em vazões controladas por reservatórios. A Bacia do Rio Piancó está enquadrada nesta categoria e, devido a este fato, percebe-se que o processo de outorga torna-se ainda mais complexo.

Visando analisar o processo de outorga na Bacia do Rio Piancó, incluindo suas peculiaridades, foi aplicada uma metodologia com base no modelo proposto, considerando vários cenários. Esses cenários dividiram-se em três grupos: Cenários de Demanda Hídrica com Reservatórios Isolados (CDHRI), Cenários de Demanda Hídrica com Reservatórios em Série (CDHRS) e Cenários de Demanda Hídrica com Reservatórios em Paralelo (CDHRP). Os CDHRI tratam da análise dos reservatórios isoladamente, considerando cada reservatório do sistema sendo atendido apenas por sua bacia de contribuição; o CDHRS estuda o comportamento dos reservatórios interligados em série, podendo realizar transferência de vazões entre eles; e por fim, o CDHRP trata da análise do sistema, observando a disposição dos reservatórios em paralelo, e analisando também as possibilidades de transferência de vazões. A seguir, serão detalhados todos os cenários propostos para o estudo e a metodologia aplicada.

### **7.1 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS PARA A BACIA DO PIANCÓ**

Os cenários tratados neste estudo estão relacionados com a demanda hídrica e com a distribuição geográfica dos reservatórios ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó. Em bacias controladas por reservatórios, a sub-bacia de contribuição de cada reservatório é fundamental no processo de outorga, pois o suprimento das demandas a este reservatório deverá, a princípio, ser feito por essa sub-bacia. Este critério visa atender, principalmente, os princípios de equidade, quanto a distribuição espacial, e respeito à capacidade de suporte do meio ambiente. No entanto, se a sub-bacia não atende a todas as suas demandas hídricas, principalmente se tiverem alta prioridade de atendimento, faz-se mister considerar a colaboração de reservatórios mais a montante (transposição), reservatórios vizinhos mais próximos ou ainda outras alternativas de gerenciamento.

Partindo desse pressuposto, foram definidos alguns cenários, com o objetivo de otimizar o processo de outorga na Bacia do Rio Piancó, visando ao atendimento do maior

número de demandas possível, sem comprometer a capacidade de suporte da bacia. O Quadro 7.1 define brevemente os cenários estudados, e a descrição detalhada de cada um deles será feita nos itens seguintes.

**Quadro 7.1 – Descrição dos cenários propostos no estudo**

CENÁRIOS	ANÁLISES		DESCRIÇÃO
Cenários de Demanda Hídrica com Reservatórios Isolados (CDHRI)	Demandas Atuais	A montante	Cenário utilizando demandas hídricas atuais e considerando a análise da outorga, a partir da bacia de contribuição de cada reservatório individualmente.
		Coremas-Mãe D'Água e jusante	
	Demandas Futuras (Anos 2017 e 2027)	A montante	Cenário utilizando demandas hídricas futuras e considerando a análise da outorga, a partir da bacia de contribuição de cada reservatório individualmente.
	Demandas Alternativas	Coremas-Mãe D'Água e jusante	Cenário considerando a transposição do Rio São Francisco e a análise da outorga, a partir da bacia de contribuição do sistema Coremas-Mãe D'Água.
Cenários de Demanda Hídrica com Reservatórios em Série (CDHRS)	Demandas Futuras	Reservatórios com Crédito	Cenário utilizando demandas hídricas futuras e considerando a análise da outorga, a partir da bacia de contribuição dos reservatórios interligados em série (transferência de outorga)
		Reservatórios com Débito	
Cenários de Demanda Hídrica com Reservatórios em Paralelo (CDHRP)	Demandas Futuras	Reservatórios remanescentes com Crédito	Cenário utilizando demandas hídricas futuras e considerando a análise da outorga, a partir da bacia de contribuição dos reservatórios interligados em paralelo (transferência de outorga)
		Reservatórios remanescentes com Débito	

## 7.2 CENÁRIOS DE DEMANDA HÍDRICA COM RESERVATÓRIOS ISOLADOS

O cenário de demanda hídrica com reservatórios isolados (CDHRI) tem como objetivo avaliar o comportamento hídrico dos reservatórios individualmente. Para a análise desse cenário, três situações distintas foram consideradas: demandas atuais, demandas futuras e demandas de gerenciamento alternativo.

As respostas hídricas do CDHRI foram obtidas através de otimizações realizadas com o modelo de outorga proposto neste estudo e descrito no Capítulo 5. No organograma da Figura 7.1 são apresentadas todas as situações propostas para o cenário e as análises realizadas. Os sub-cenários de demanda hídrica serão detalhadamente descritas a seguir.



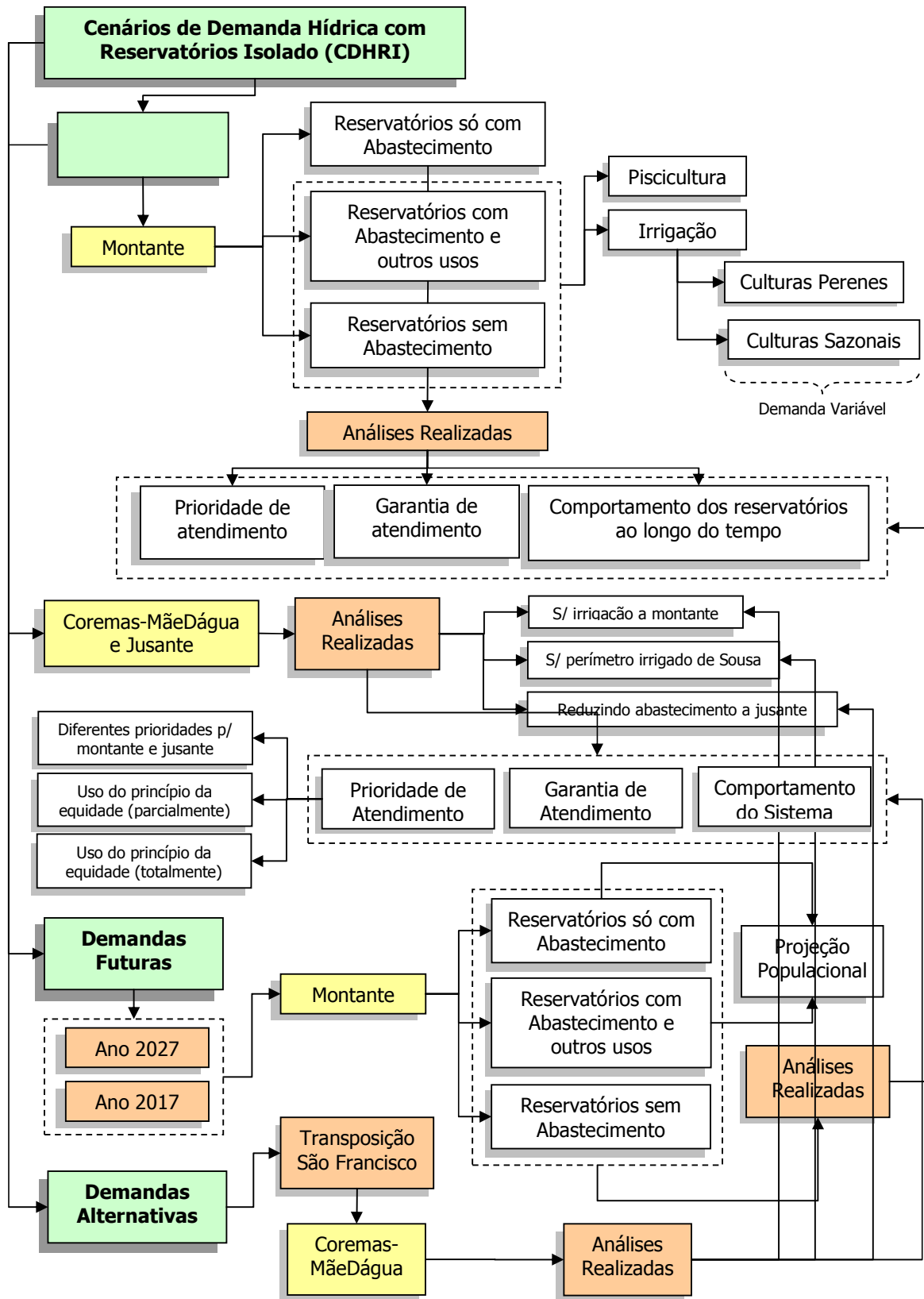


Figura 7.1 – Organograma de descrição do cenário de demanda hídrica com reservatórios isolados.

### **7.2.1 DEMANDAS HÍDRICAS ATUAIS**

Este sub-cenário avalia o comportamento dos reservatórios individualizados considerando, na análise, o estudo das outorgas já existentes na bacia, ou seja, as demandas atuais, e tem como objetivo:

- verificar o atendimento às demandas atuais, sabendo que a demanda de abastecimento público é prioritária, segundo o Decreto Estadual nº 19.260/97, que regulamenta a outorga na Paraíba;
- analisar a garantia de atendimento das demandas referentes a cada reservatório, considerando que garantias menores que 90% não são satisfatórias;
- avaliar o comportamento dos reservatórios, ao longo do tempo, considerando que esses reservatórios devem manter sempre uma quantidade mínima de água (volume morto), garantida, neste estudo, através de um valor pré-fixado de 10% do volume máximo.

#### **7.2.1.1 RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

O estudo dos 24 reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água foi realizado a partir otimizações, utilizando o modelo de outorga proposto nesta pesquisa (ver Cap. 5), considerando, como entrada do modelo, os dados de fluviometria, correspondentes a 53 anos de vazão geradas, além do volume mínimo (equivalente a 10% do volume máximo), volume inicial (igual a 50% do volume máximo) e as demandas atuais obtidas para variados usos, dependendo do reservatório analisado. Para os reservatórios Poço Redondo e Canoas, foram utilizadas as suas capacidades atuais, ou seja, equivalente a 10 hm<sup>3</sup> cada um. Com o intuito de permitir uma análise mais detalhada, esses reservatórios foram divididos quanto ao uso em reservatórios: com apenas abastecimento, reservatórios com abastecimento e outros usos, e reservatórios sem abastecimento.

### 7.2.1.2 RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA E JUSANTE

O sistema Coremas-Mãe D'Água foi analisado, também, através das otimizações realizadas com o modelo de outorga. Para essa análise, consideraram-se os reservatórios interligados, formando um único lago, com volume máximo igual a 1.358,7 hm<sup>3</sup>, volume mínimo igual a 656,5 hm<sup>3</sup> (volume na cota de ligação) e volume inicial equivalente a 50% do volume máximo utilizado. Como não se dispunha de dados de vazões afluentes ao sistema, foi utilizada, como afluência representativa, a soma das vazões médias mensais dos três tributários ligados aos Reservatórios Coremas-Mãe D'Água (Emas, Piancó e Aguiar), correspondente a uma série de 11 anos, de acordo com estudo feito por Oliveira (1998). No entanto, devido ao grande número de açudes construídos a montante, Oliveira (1998) considerou uma redução de 34% da vazão média afluente ao sistema Coremas-Mãe D'Água. Essa redução também foi adotada neste trabalho.

Com relação às demandas, além das ligadas diretamente ao sistema Coremas-Mãe D'Água (abastecimento, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros e piscicultura) considerou-se, também, algumas demandas a sua montante, provenientes dos perímetros irrigados ao longo do Rio Piancó (tais como Piancó II e III e Piancó-Brotas), e de jusante, correspondendo às demandas de abastecimento, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros, indústria e piscicultura. Tanto as demandas de montante quanto de jusante, foram consideradas, neste estudo, como se estivessem sendo diretamente retiradas dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, ou seja, incorporando-as na área de contribuição de sua sub-bacia. Portanto, foi estudado o comportamento deste sistema apenas com as demandas de montante e, em seguida, com as demandas diretamente ligadas a ele, e de jusante.

As demandas diretamente ligadas ao sistema Coremas-Mãe D'Água e as demandas de jusante (descritas acima) foram obtidas através do Marco Regulatório (Resolução nº 687 da ANA); e, no documento citado, essas demandas são consideradas como máximas possíveis para outorga.

Além da análise do atendimento às demandas já apresentadas, outras situações também foram examinadas com o objetivo de avaliar como o sistema se comportaria e qual o grau de interferência que algumas demandas, isoladamente, teriam sobre o volume armazenado dos reservatórios e sobre as demais demandas. Considerou-se, portanto, três novas situações: na primeira, retirou-se do sistema as demandas referentes aos perímetros irrigados de montante; na segunda, reduziu-se em 0,5 m<sup>3</sup>/s a demanda de abastecimento de

jusante, e, por último, considerou-se o sistema sem a demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s do perímetro irrigado de Sousa.

## **7.2.2 DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS**

O comportamento individual dos reservatórios da Bacia do Rio Piancó, considerando demandas hídricas futuras, é analisado neste sub-cenário. Além disso, também são verificadas as garantias de atendimento a essas demandas, considerando a disponibilidade hídrica da sub-bacia de contribuição de cada reservatório. Outros objetivos referentes a essa análise são:

- para um horizonte de planejamento de 10 e 20 anos (2017 e 2027), fazer uma previsão da vazão futura nos reservatórios da bacia;
- verificar a garantia de atendimento de cada demanda, tanto para o ano 2017, quanto para 2027, partindo dos dados de vazões futuras e considerando que garantias menores que 90% não são satisfatórias;
- sempre que possível, realizar uma comparação entre os resultados obtidos com esse sub-cenário e o sub-cenário de demandas hídricas atuais;
- analisar o comportamento do volume armazenado nos reservatórios, ao longo do tempo, considerando que os mesmos devem manter a quantidade mínima de água (volume morto), através de um valor pré-fixado de 10% do volume máximo.

### **7.2.2.1 RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

Para a análise das demandas futuras dos 24 reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, considerou-se, como dados de entrada, para o modelo de outorga, o volume mínimo dos reservatórios (equivalentes a 10% do volume máximo), o volume inicial (igual a 50% do volume máximo) e as afluições correspondentes a uma série de 53 anos de vazões geradas. Para o cenário futuro relativo aos reservatórios Poço Redondo e Canoas, que, no sub-cenário de demanda hídrica atual, foram utilizados com capacidades de 10 hm<sup>3</sup> cada

um, considerou-se que os mesmos haviam sido concluídos e poderiam atuar com suas capacidades máximas de projeto, ou seja, 62,75 hm<sup>3</sup> e 45,55 hm<sup>3</sup>, respectivamente.

Todas as demandas de abastecimento utilizadas nesse cenário foram obtidas através de projeções baseadas em crescimento populacional. No entanto, algumas, ou por não se dispor de dados, ou por estarem no seu limite (sem possibilidade de crescimento), não sofreram alterações (permaneceram constantes).

Igualmente ao sub-cenário de demanda hídrica atual, os reservatórios, neste caso, também foram divididos por uso em: reservatórios com apenas abastecimento, reservatórios com abastecimento e outros usos, e reservatórios sem abastecimento. As otimizações foram realizadas para os anos de 2017 e 2027.

### **7.2.3 DEMANDAS COM GERENCIAMENTO ALTERNATIVO**

Como última análise do CDHRI, considerou-se um acréscimo de 10 m<sup>3</sup>/s ao sistema Coremas-Mãe D'Água, proveniente de uma fonte alternativa, conseguida através da transposição do Rio São Francisco.

A primeira versão do plano de transposição de águas do Rio São Francisco considerava a possibilidade de a transposição chegar à Paraíba através da Bacia do Piancó. No entanto, decidiu-se que seria utilizada a Bacia do Alto Piranhas, para ser executada essa obra. Apesar desse fato, foi realizado, neste sub-cenário, o estudo dos benefícios que uma possível transposição poderia acarretar na bacia, no tocante ao atendimento às demandas outorgadas.

Para o sub-cenário de gerenciamento alternativo, considerou-se a transposição chegando através do sistema Coremas-Mãe D'Água e, portanto, não causando nenhuma modificação em termos de vazão nos 24 reservatórios de montante. Assim sendo, esses reservatórios não são considerados nesta análise. Os objetivos desse sub-cenário são:

- analisar o comportamento hídrico do sistema com relação ao atendimento das demandas outorgadas e ligadas diretamente aos reservatórios Coremas e Mãe D'Água e o atendimento às demandas de jusante com o acréscimo dessa vazão;
- comparar, sempre que possível, os resultados obtidos para o atendimento às demandas antes e depois da transposição da vazão de 10 m<sup>3</sup>/s advinda do Rio São Francisco.

As condições iniciais utilizadas no modelo de outorga foram as mesmas descritas no item 7.2.1.2. Apenas com relação à vazão afluyente, foram adicionados os 10 m<sup>3</sup>/s transpostos do Rio São Francisco à série de 11 anos já existente.

Assim, com todos os dados de entrada, foram realizadas análises comparativas entre as garantias de atendimento a essas demandas antes e após a transposição para as demandas de montante, jusante e aquelas diretamente ligadas ao sistema Coremas-Mãe D'Água.

Neste sub-cenário, foram consideradas os mesmos valores das demandas utilizadas no cenário de demanda hídrica atual obtidas pelo Marco Regulatório (Resolução nº 687 da ANA). Ainda com relação a demandas, além das análises realizadas para cumprir os objetivos desse sub-cenário, duas situações extras foram pesquisadas com o objetivo de avaliar o comportamento do sistema: redução de 0,5 m<sup>3</sup>/s da demanda de abastecimento de jusante e retirada da demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s do perímetro irrigado de Sousa.

### **7.3 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM SÉRIE (CDHRS)**

Neste cenário – CDHRS, é analisado o comportamento dos reservatórios da Bacia do Rio Piancó, considerando a disponibilidade hídrica de cada um e a possibilidade de transferência de água quando estiverem ligados em série. Um novo conceito foi introduzido nesta etapa: a *transferência de outorga*, termo utilizado, neste estudo, para conceituar a transferência de vazão entre os reservatórios, ou seja, suas sub-bacias. Estabeleceu-se que, para um reservatório realizar transferência de outorga, este deverá garantir suas demandas, inclusive considerando as projeções futuras. Esta análise teve quatro objetivos principais:

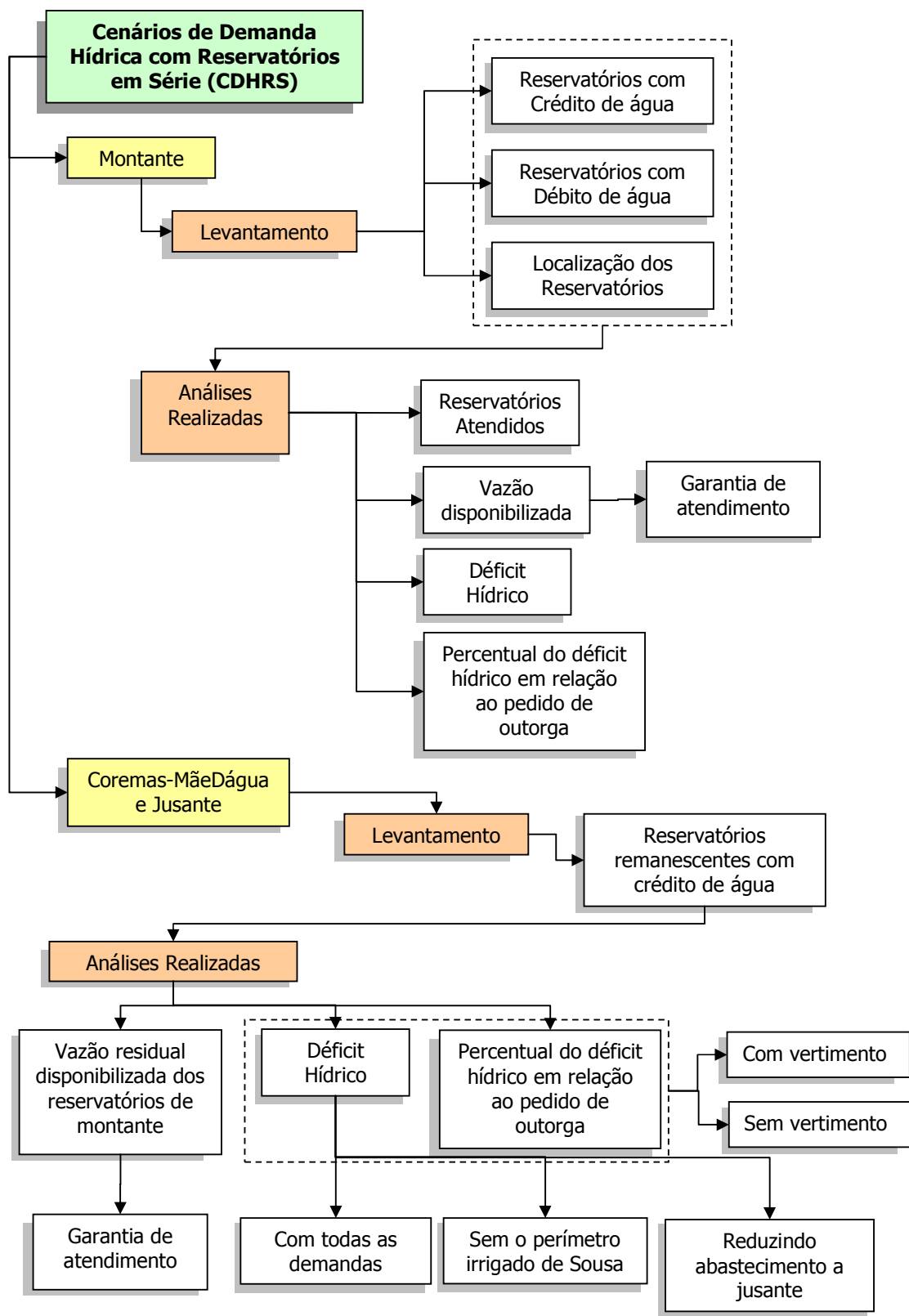
- selecionar, a partir da distribuição geográfica dos reservatórios do sistema, caso hajam, quais reservatórios estão ligados em série;
- identificar os reservatórios com “*crédito*” e “*débito*” de água e estudar as possíveis contribuições desses reservatórios, considerando que os reservatórios com crédito atendem primeiramente todas as suas demandas, inclusive futuras, antes de disponibilizar água para um possível transferência de outorga (respeitando o princípio da equidade espacial e capacidade de suporte do meio ambiente);

- quantificar as vazões que poderão ser disponibilizadas nos reservatórios com crédito e as vazões necessárias para suprir as falhas de atendimento às demandas nos reservatórios com déficit;
- avaliar o grau de influência dos vertimentos dos reservatórios a montante no atendimento às demandas dos reservatórios em série;
- apresentar, para cada uma das vazões cedidas pelos reservatórios com crédito de água, sua garantia de atendimento, lembrando que o nível das garantias de atendimento das demandas deverá ser igual ou superior a 90%.

Uma melhor visualização das etapas que compõem esse cenário está exposta no organograma da Figura 7.2. Também neste estudo, primeiramente realizou-se a análise dos vinte e quatro reservatórios a montante do sistema, e, em seguida, foi analisado o sistema Coremas-Mãe D'Água e sua jusante.

### **7.3.1 RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

Para este sub-cenário, consideraram-se as mesmas condições iniciais de volumes já discutidas anteriormente, no item 7.2.1.1. No entanto, para algumas análises, somaram-se, às vazões afluentes ao sistema, os vertimentos dos reservatórios de montante. Considerou-se, também, a conclusão dos reservatórios Poço Redondo e Canoas, que já podem atuar com suas capacidades máximas. Neste sub-cenário, foram utilizadas as demandas futuras de cada reservatório, e somente após garantido seus atendimentos, calcularam-se as possíveis vazões disponibilizadas para atender às demandas de outros reservatórios. Para os reservatórios que não possuíam previsão de demanda futura, utilizaram-se os dados de demandas atuais.



**Figura 7.2** – Organograma de descrição dos cenários de demanda hídrica com reservatórios ligados em série.



O cálculo das vazões disponibilizadas foi feito através de tentativas, ou seja, mantendo-se as demandas do sistema, era atribuída uma vazão ao reservatório analisado e checava-se, após rodar o programa, a sua resposta com relação a garantia de atendimento. O resultado considerado como satisfatório era aquele cuja vazão estivesse com uma garantia de aproximadamente 90%. Caso determinada vazão gerasse garantias abaixo desse valor, essa vazão era descartada e uma nova tentativa era realizada.

### **7.3.2 RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA E JUSANTE**

As condições iniciais de volumes e vazões afluentes descritas anteriormente, no item 7.2.1.2, para o sistema Coremas-Mãe'D Água, foram também utilizadas para compor esse sub-cenário. Para a análise, considerou-se o total de demandas atribuídas aos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, incluindo os perímetros irrigados a montante, as demandas diretamente ligadas ao sistema e as demandas a jusante. Analisou-se quais demandas apresentaram falhas de atendimento superior a 10%. Foi, então, verificada, para cada uma destas demandas, a possibilidade de suprimento de água, através de uma transferência de outorga.

### **7.4 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM PARALELO (CDHRP)**

Após estudar as possibilidades de transferência de outorga dos reservatórios dispostos em série, realizou-se uma nova análise, considerando o estudo do suprimento de água pelos reservatórios dispostos em paralelo. Para este novo cenário, denominado de cenário de demanda hídrica, com os reservatórios em paralelo (CDHRP), buscou-se analisar o comportamento dos reservatórios da Bacia do Rio Piancó, com esta característica, considerando a disponibilidade hídrica de cada um e a possibilidade de transferência de água entre eles. Definiu-se, igualmente ao CDHRS, que a transferência de outorga só seria possível quando os reservatórios com excedentes hídricos garantissem suas demandas, inclusive considerando as projeções futuras. Os principais objetivos deste cenário foram:

- avaliar a distribuição geográfica dos reservatórios do sistema e selecionar, caso haja, os reservatórios vizinhos (dispostos em paralelo) com disponibilidade hídrica (crédito) mais próximos dos reservatórios com déficit de água;

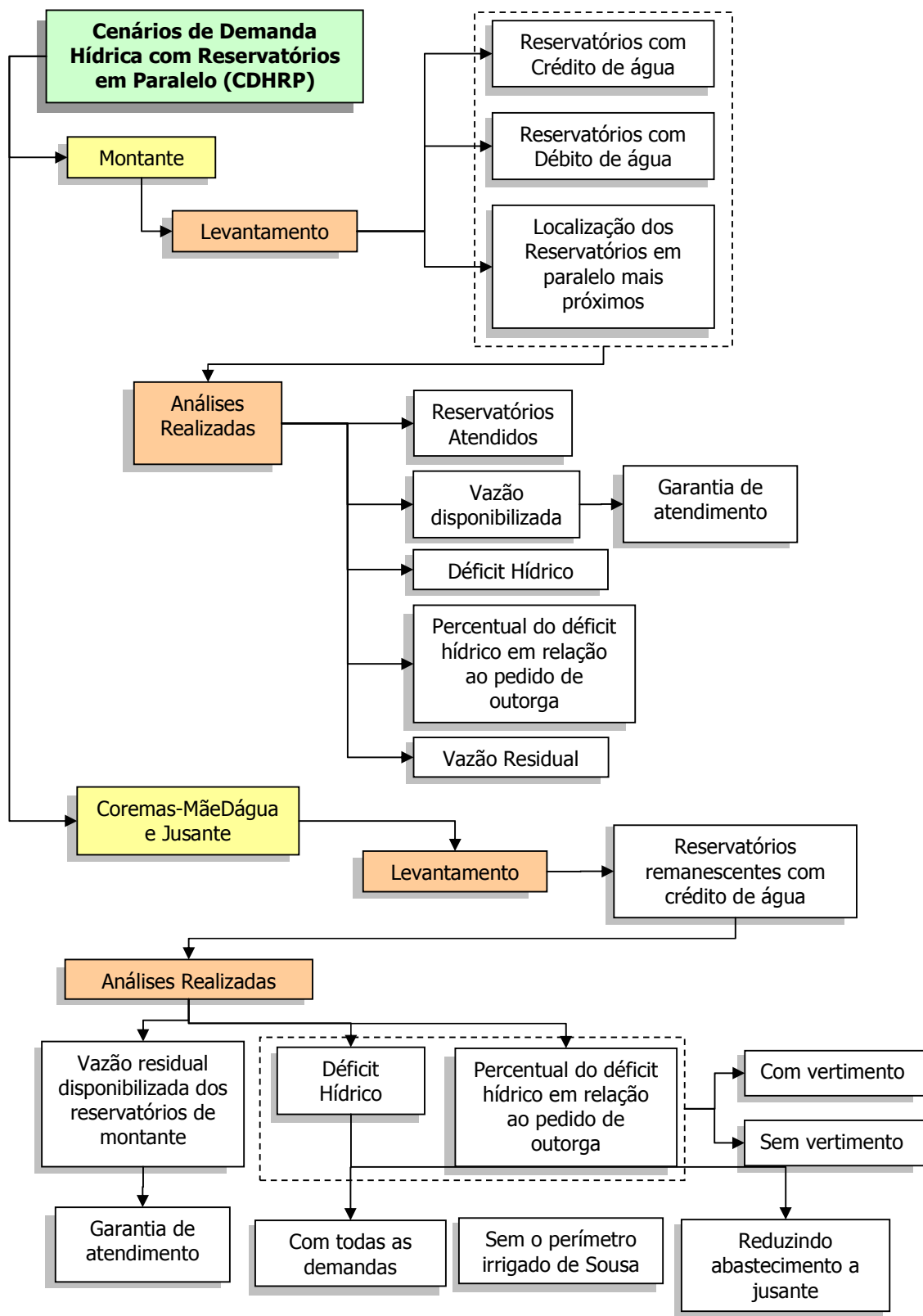
- fazer um estudo das possíveis contribuições dos reservatórios vizinhos, a partir dos dados de vazões disponibilizadas, das demandas requeridas e da garantia de atendimento, obtidos nos CDHRI e CDHRS, levando em consideração as características deste cenário.

Todas as etapas que compõem o CDHRP constam no organograma da Figura 7.3.

Com relação à escolha dos reservatórios utilizados como concessionores de vazão, neste cenário, deu-se prioridade, sempre que possível, àqueles localizados em cotas mais altas que os reservatórios receptores, ou seja, com déficit hídrico, pois uma eventual transferência pode tornar-se inviável, dependendo da localização. Para esta análise, primeiramente foram selecionados os reservatórios a montante do sistema, com falhas de atendimento à demanda, e, em seguida, estudado o sistema Coremas-Mãe D'Água e sua jusante.

#### **7.4.1 ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS A MONTANTE**

Para os vinte e quatro reservatórios de montante analisados no CDHRP, não houve alterações das condições iniciais propostas pelo cenário anterior (CDHRS), e considerou-se, então, para entrada do modelo, o volume inicial igual a 50% do volume máximo e o volume mínimo dos reservatórios correspondente a 10% do volume máximo (reserva para vazão ecológica), e afluência relativas a uma série de 53 anos de vazões geradas. Considerou-se, ainda, também neste caso, a conclusão dos reservatórios Poço Redondo e Canoas, para atuarem com suas capacidades de projeto.



**Figura 7.3** – Organograma de descrição dos cenários de demanda hídrica com reservatórios ligados em paralelo.

Para os reservatórios de montante, utilizaram-se as demandas futuras de cada um deles e, somente após garantido seus atendimentos, calcularam-se as possíveis vazões disponibilizadas para atender a outros reservatórios. Caso não possuíssem previsão de demanda futura, consideravam-se os dados de demandas atuais.

Os dados das vazões disponibilizadas, obtidos no CDHRS, através de tentativas, foram utilizados neste sub-cenário.

#### **7.4.2 ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA E JUSANTE.**

Neste sub-cenário, os dados de entrada no modelo, referentes ao volume, foram os mesmos utilizados nos CDHRI e CDRHS para o sistema Coremas-Mãe D'Água. Já as vazões afluentes, em algumas análises, considerou-se o acréscimo dos vertimentos advindos dos reservatórios a montante do sistema.

Com relação à demanda, para este sub-cenário, utilizou-se o total atribuído aos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, incluindo os perímetros irrigados a montante, as demandas diretamente ligadas ao sistema e as demandas a jusante. Como já haviam sido calculadas no CDHRS, as vazões referentes às demandas com falhas para o sistema, essas foram aproveitadas neste estudo.

#### **7.5 METODOLOGIA DO ESTUDO**

O organograma das etapas que compõem a metodologia proposta neste estudo encontra-se na Figura 7.4. Como observado na figura, a metodologia inicia-se com o CDHRI, no qual três situações são abordadas: demandas hídricas atuais, demandas hídricas futuras e demandas hídricas alternativas. Após a criação dos sub-cenários, é realizada a otimização das duas primeiras demandas (atual e futura), através do modelo de outorga do CDHRI. De posse dos resultados, é feita uma análise para verificar se as demandas referentes aos reservatórios avaliados foram atendidas com garantia igual ou superior a 90% (valor fixado pela Lei Estadual nº 19.260 que regulamenta a outorga na Paraíba). Caso esse objetivo seja alcançado, considera-se o reservatório com crédito de água; caso contrário, o reservatório terá déficit hídrico.

Após concluída esta análise, segue-se para o segundo cenário do estudo: o CDHRS, no qual serão calculadas as vazões disponíveis para outorga dos reservatórios com crédito e o

cálculo dos déficits hídricos nos reservatórios com falhas de atendimento. Realizada essa etapa, é feita uma avaliação de possíveis “*transferência de outorga*” de reservatórios situados em série e a montante de outros reservatórios.

Se ainda assim, existirem falhas de atendimento, uma nova análise será realizada considerando, neste caso, os reservatórios remanescentes com crédito. Novamente faz-se uma análise da possibilidade de “*transferência de outorga*”, dessa vez considerando os reservatórios com crédito, dispostos paralelamente aos reservatórios com déficit hídrico. Finalizado o estudo, encerra-se esta parte da análise.

As demandas provenientes de gerenciamento alternativo do CDHRI são estudadas separadamente, apenas verificando como se comportaria o sistema com relação ao processo de outorga, caso uma possível transposição de águas do Rio São Francisco fosse realizada.

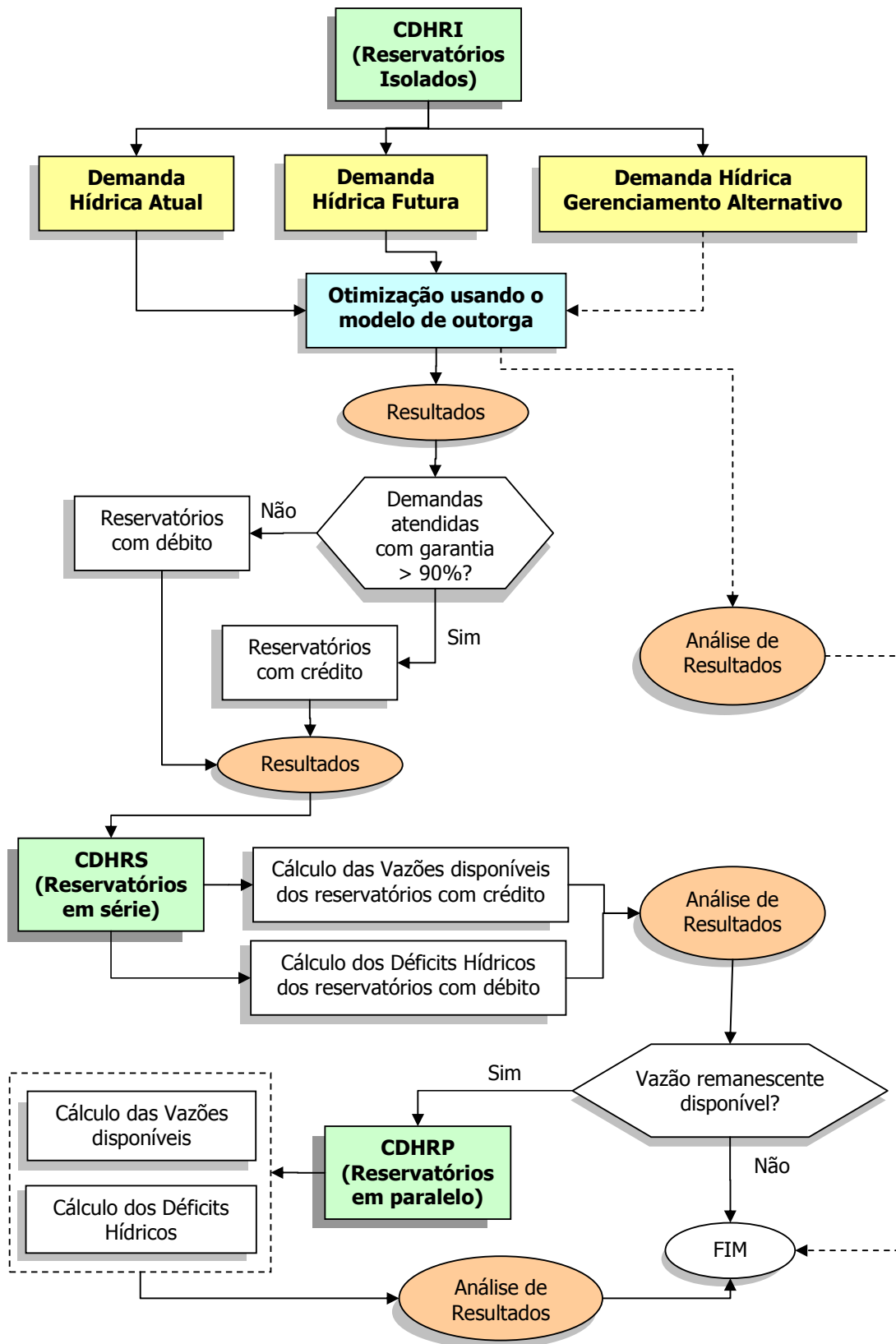


Figura 7.4 – Organograma das etapas metodológicas utilizadas no estudo.

A black and white photograph of water being poured into a glass. The water is captured in mid-pour, creating a dynamic splash with many small droplets and ripples. The background is a soft, out-of-focus grey.

**Capítulo VIII**  
**Análise dos Resultados**

## **8 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os resultados e discussões da aplicação do modelo de outorga, nos cenários propostos neste estudo e discutidos detalhadamente no Capítulo VII, são apresentados neste capítulo.

### **8.1 CENÁRIOS DE DEMANDA HÍDRICA COM RESERVATÓRIOS ISOLADOS (CDHRI)**

O principal objetivo deste grupo de cenários é analisar o comportamento do sistema estudado dentro do processo de outorga, considerando que cada reservatório é um sistema isolado. .

#### **8.1.1 DEMANDAS HÍDRICAS ATUAIS**

Para facilitar o desenvolvimento da análise e a obtenção dos resultados, foram estudados primeiramente, os vinte e quatro reservatórios de montante do sistema; em seguida, o sistema Coremas-Mãe D'Água e sua jusante.

##### **8.1.1.1 RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

A linearização das curvas área-volume dos 24 reservatórios foi obtida, para auxiliar o estudo das perdas por evaporação. Um exemplo do ajuste da curva para o reservatório Serra Vermelha a montante do sistema é mostrado no Apêndice A (Figura A1). Os reservatórios foram divididos por tipo de uso, ou seja, reservatórios com apenas abastecimento, com abastecimento e outros usos e sem abastecimento para permitir uma análise mais detalhada da situação de cada deles e facilitar a análise do sistema integrado.

###### **8.1.1.1.1 RESERVATÓRIOS DESTINADOS APENAS A USOS PRIORITÁRIOS (ABASTECIMENTO)**

Dos vinte e quatro reservatórios analisados a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, apenas nove possuem outorga exclusivamente para atender a demanda de abastecimento. São eles: Serra Vermelha I, Piranhas, Catolé, Jatobá II, Boqueirão dos Cochos,



Emas, Jenipapeiro, Bom Jesus e Glória. Na Tabela 8.1 são mostradas as demandas médias e os resultados (após a utilização do modelo de outorga) obtidos para a garantia média de atendimento de cada reservatório.

**Tabela 8.1** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados apenas a abastecimento

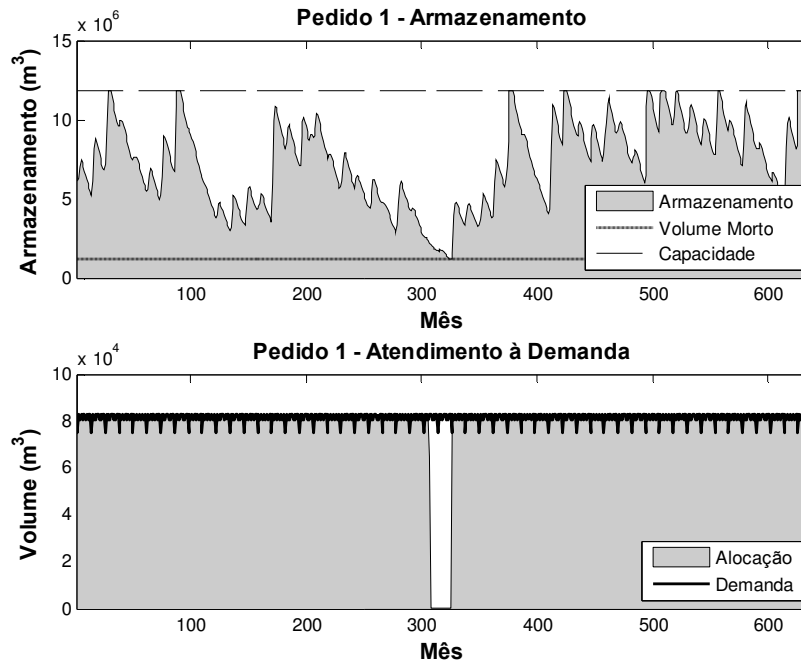
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Serra Vermelha I	1	Abastecimento	0,031	97,01
Piranhas	1	Abastecimento	0,005	100,00
Catolé	1	Abastecimento	0,011	0,00
Jatobá II	1	Abastecimento	0,046	97,80
Boq. Dos Cochós	1	Abastecimento	0,010	100,00
Emas	1	Abastecimento	0,004	98,11
Jenipapeiro	1	Abastecimento	0,006	100,00
Bom Jesus	1	Abastecimento	0,006	100,00
Glória	1	Abastecimento	0,009	100,00

De acordo com a Tabela 8.1, apenas o reservatório de Catolé apresenta problemas, visto que, neste reservatório, a demanda não possui nenhuma garantia de atendimento. Para todos os demais, a garantia de atendimento à demanda de abastecimento, considerada como prioritária, é sempre superior aos 90% exigidos pelo Decreto Estadual nº 19.260/97 que regulamenta a outorga de uso da água no estado. Portanto, exceto o reservatório de Catolé, todos os demais reservatórios a montante do sistema, quando destinados apenas a abastecimento, encontram-se realizando outorgas dentro do permitido por lei.

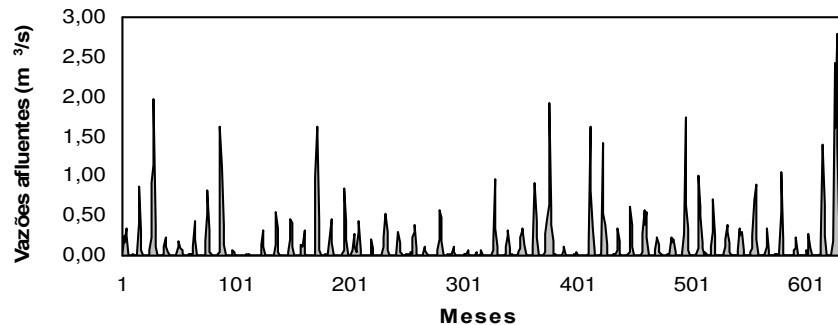
Os comportamentos dos reservatórios, ao longo do tempo, gerados pelo modelo de outorga, estão apresentados nas Figuras 8.1 a 8.9.

A Figura 8.1 apresenta o comportamento hídrico do reservatório Serra Vermelha I, ao longo dos meses, simultaneamente às retiradas para atender as demandas de abastecimento. No gráfico de armazenamento são mostrados o volume morto (representado pela linha pontilhada), a capacidade máxima (indicada pela linha tracejada), e o volume armazenado ao longo do tempo (área delimitada por linha cheia e preenchida pela cor cinza) e, no gráfico de atendimento à demanda, são apresentadas as alocações mensais de água (representadas pela área limitada por linha cheia e totalmente preenchida pela cor cinza se a demanda for atendida em 100% do tempo ou com alguns espaços sem preenchimento - em branco – caso ocorram falhas).

A Figura 8.1a mostra um histórico das vazões afluentes ao reservatório Serra Vermelha I ao longo dos meses para, possibilitar um melhor entendimento das falhas ocorridas neste reservatório e mostradas na Figura 8.1.



**Figura 8.1** – Comportamento do Reservatório Serra Vermelha I, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento.

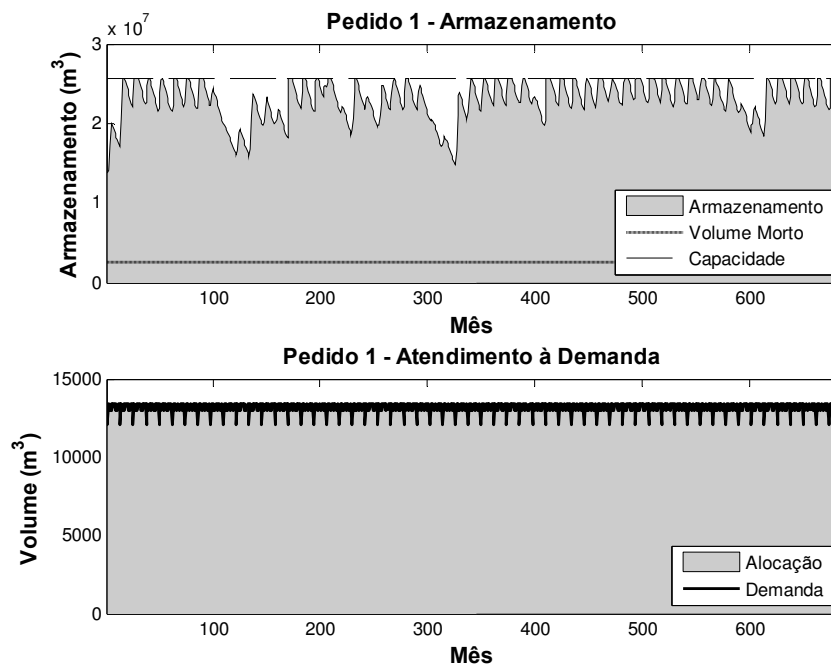


**Figura 8.1a** – Vazões afluentes ao reservatório Serra Vermelha I corresponde a uma série de 53 anos.

De acordo com a Figura 8.1, observa-se que, na maior parte do tempo, a alocação da demanda é realizada com sucesso. Apenas em um pequeno período, ao longo da série, percebe-se a ocorrência de falhas. Esse período corresponde exatamente aos meses em que ocorre uma queda considerável do armazenamento de água devido a diminuição da vazão afluente ao reservatório mostrada pela Figura 8.1a (próximo ao mês 300), provavelmente

decorrente de um período prolongado de estiagem. Neste período, o reservatório atinge o volume morto, retratado no gráfico de atendimento a demanda (Figura 8.1), pelas falhas de preenchimento a partir do mês 300. Deve-se observar que, ao atingir o volume morto, a qualidade da água poderá ser alterada, impossibilitando, inclusive, sua utilização para abastecimento. Neste caso, medidas emergenciais, como a utilização de carros-pipa para atendimento a população local durante o período crítico, poderiam ser eficientes para minimizar os transtornos causados pela falta de água. À medida que o reservatório recebe água e se recupera, o atendimento à demanda é novamente satisfeito.

A Figura 8.2 mostra o comportamento hídrico, ao longo dos meses, do reservatório Piranhas e as retiradas de água para atender à demanda de abastecimento. No gráfico de armazenamento, percebe-se que o reservatório, em muitos meses, atinge a sua capacidade máxima e, ao longo de toda a série analisada, permanece com um volume adequado a demanda, exceto para alguns poucos meses em que ocorrem algumas baixas. Esse comportamento é refletido no atendimento sem falhas à demanda ao longo do tempo.

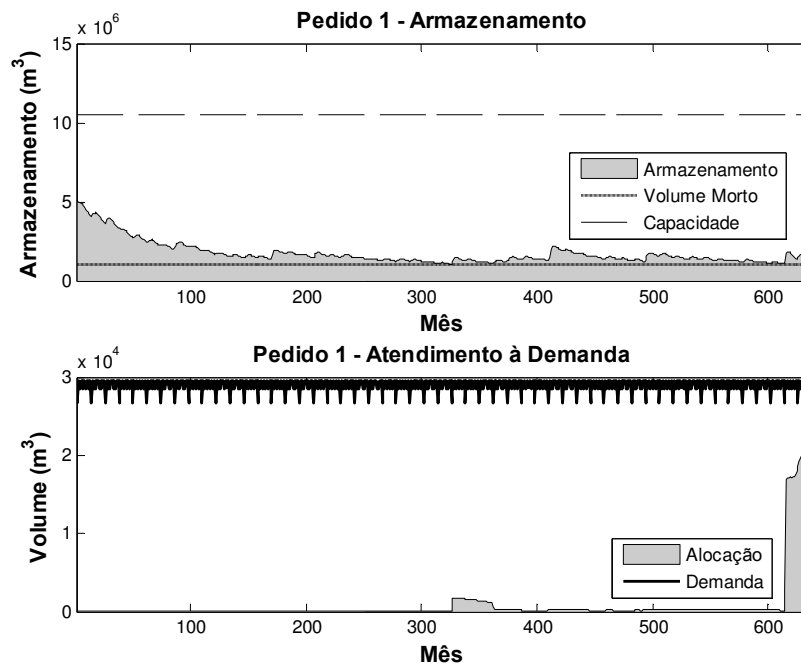


**Figura 8.2** – Comportamento do Reservatório Piranhas ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

Apesar de o reservatório Piranhas está localizado próximo ao reservatório Serra Vermelha I refletindo em uma condição climática semelhante, aquele reservatório não

apresenta falhas devido a dois fatores: (1) a sua capacidade de armazenamento é mais que o dobro da capacidade do reservatório Serra Vermelha I, e (2) a demanda destinada a abastecimento em Piranhas é consideravelmente menor quando comparada com a demanda de Serra Vermelha I.

A Figura 8.3 mostra o comportamento do reservatório Catolé, ao longo do horizonte de otimização. Ao contrário dos reservatórios Serra Vermelha e Piranhas, discutidos anteriormente, o reservatório Catolé apresenta sérios problemas de oferta hídrica estando, na grande maioria do tempo, próximo ao seu volume morto. Devido a este fato, a alocação de água para atendimento a demanda de abastecimento torna-se impraticável, não sendo atendida, em sua integralidade, em nenhum mês ao longo de toda a série analisada. Os resultados apresentados neste estudo encontram-se em desacordo com a realidade visto que, na prática, no reservatório Catolé, considerado de médio porte, a outorga está sendo concedida e de acordo com os resultados aqui apresentados não haveria água disponível para tal outorga.

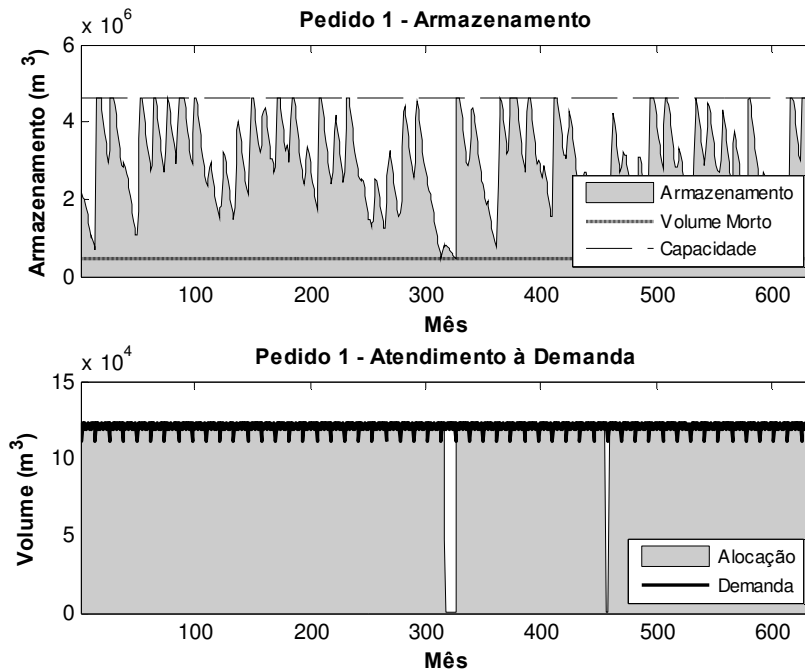


**Figura 8.3** – Comportamento do Reservatório Catolé ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

Acredita-se que os dados de vazões afluentes apesar de terem sido obtidos de documento oficial (Plano Diretor de Recursos Hídricos – 1997) estão incoerentes, visto que, coincidentemente, existe outro reservatório com mesmo nome na bacia, no entanto,

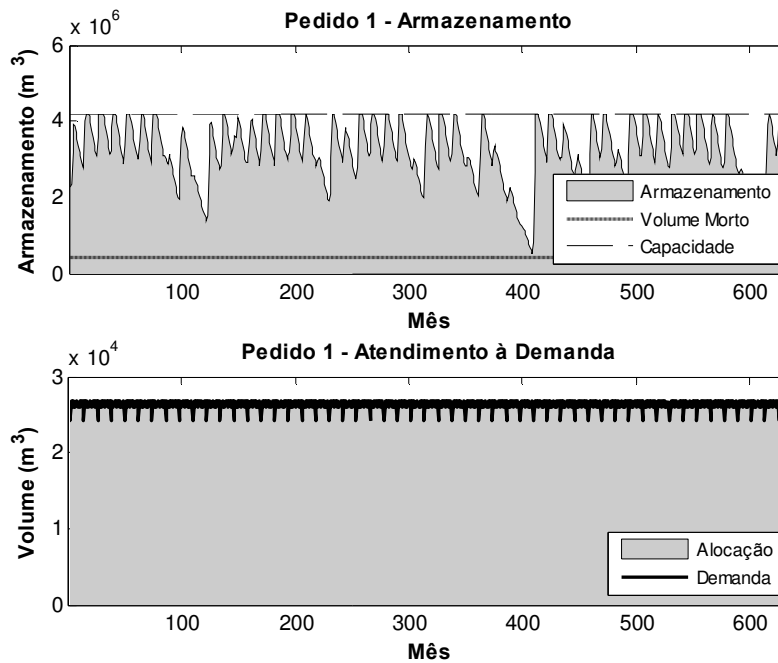
consideravelmente menor que o aqui estudado podendo ter havido uma troca de dados de vazões afluentes. Recomenda-se pois, para o reservatório Catolé, estudos mais aprofundados e uma reavaliação dos dados disponíveis .

O armazenamento de água e o atendimento à demanda para o reservatório de Jatobá II são apresentados na Figura 8.4. De acordo com a figura, o volume armazenado do reservatório apresenta grandes oscilações durante todo o período estudado atingindo picos de volume máximo em vários meses e volumes mínimos em alguns períodos, sendo alguns desses períodos responsáveis pelas falhas observadas no gráfico de atendimento à demanda. Porém, de uma maneira geral, o reservatório se comporta bem, atendendo à demanda analisada, com garantia de 97,80%, superior aos 90% necessários.



**Figura 8.4** – Comportamento do Reservatório Jatobá II ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

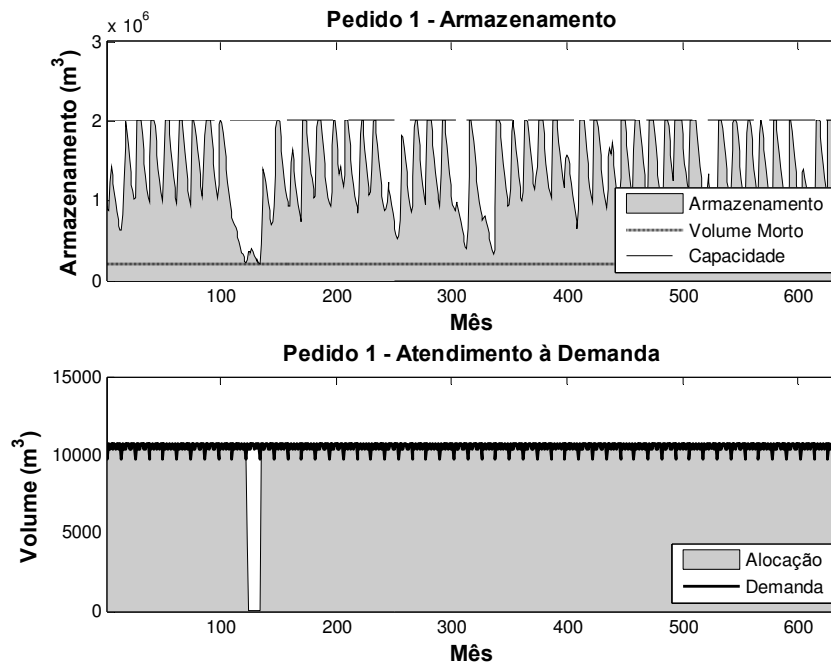
A Figura 8.5 apresenta o armazenamento e o atendimento à demanda do reservatório Boqueirão dos Cochós, ao longo do tempo.



**Figura 8.5** – Comportamento do Reservatório Boqueirão dos Cochos ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

Neste reservatório a demanda é atendida em 100% dos meses do período analisado. O acompanhamento da evolução do volume do reservatório pode ser observado no gráfico de armazenamento e mostra que, em apenas um pequeno período de tempo (próximo ao mês 400), o reservatório atingiu o volume mínimo, recuperando-se rapidamente, e portanto, não ocasionado falhas de atendimento.

O estudo do reservatório Emas é mostrado na Figura 8.6. O gráfico de armazenamento de água indica uma grande variação do volume do reservatório, ao longo tempo oscilando entre picos de volume máximo e volume médio, tendo alguns decréscimos de volume que o levam até próximo do seu volume mínimo, provavelmente ocorridos em períodos de estiagem. Justamente em um desses períodos foram registradas falhas no atendimento à demanda. No restante do tempo, o atendimento à demanda foi satisfatório, apresentando uma garantia de 98,11%, ou seja, em apenas 1,89% do período ocorreram falhas.



**Figura 8.6** – Comportamento do Reservatório Emas ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

O Comportamento hídrico do Reservatório Jenipapeiro, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento é apresentado na Figura 8.7. Percebe-se, através do gráfico, que a demanda é atendida para toda a série, reflexo do excelente armazenamento do reservatório, que atinge quase sempre o máximo. Nota-se, portanto, que esse reservatório apresenta boas condições para atendimento a novas demandas.

A Figura 8.8 acompanha o comportamento do reservatório Bom Jesus, tanto no que tange ao armazenamento, quanto ao atendimento à demanda. Igualmente ao observado no reservatório de Jenipapeiro, o volume armazenado está sempre elevado, apenas com algumas quedas eventuais sem, no entanto, chegar, em nenhum mês do período estudado, ao volume mínimo. A demanda de abastecimento, suprida por esse reservatório, é garantida com um atendimento em 100%.

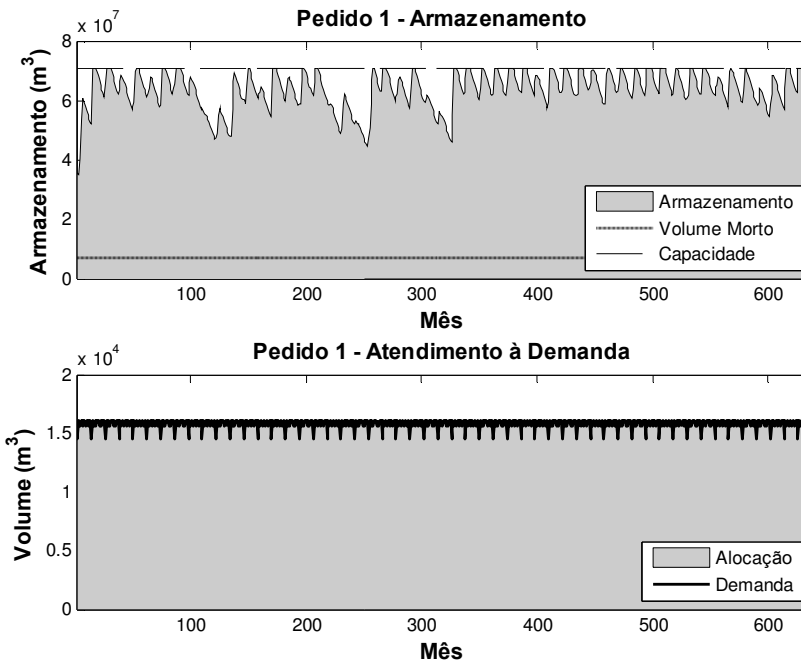


Figura 8.7 – Comportamento do Reservatório Jenipapeiro ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento

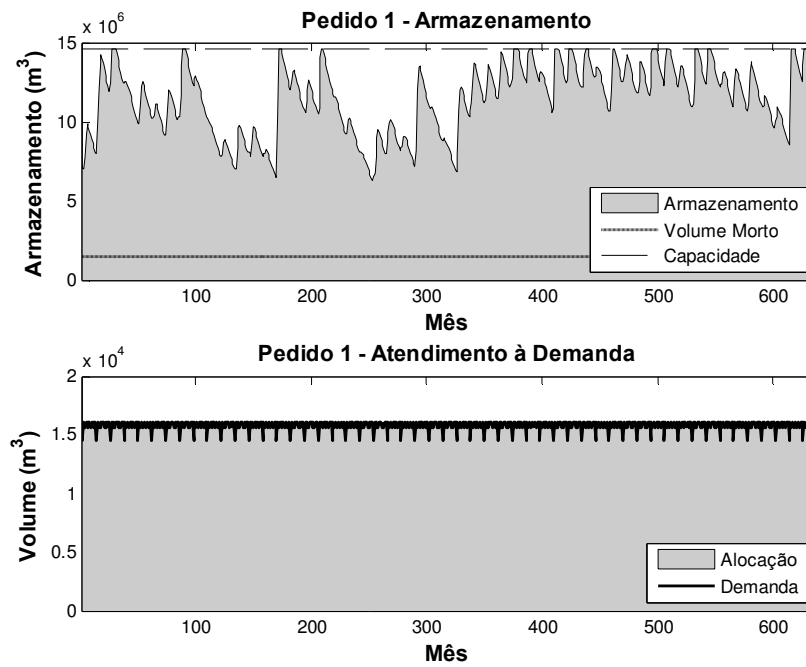
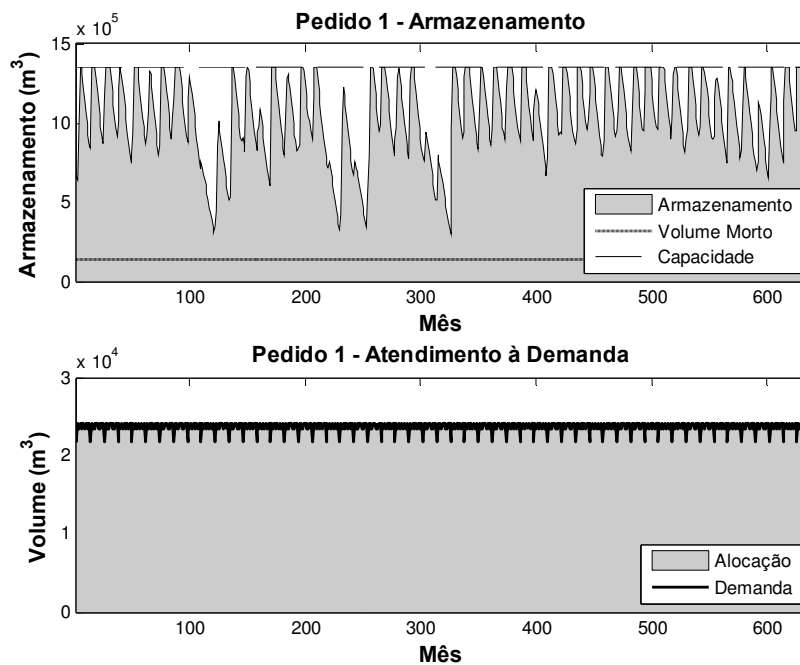


Figura 8.8 – Comportamento do Reservatório Bom Jesus ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.



Por fim, o último reservatório destinado apenas a abastecimento analisado neste estudo é o Glória. O comportamento do volume desse reservatório, ao longo do tempo, é mostrado na Figura 8.9, que traz também resultados sobre o atendimento à demanda. De acordo com a figura, percebe-se que as demandas foram atendidas em 100% dos meses e o volume do reservatório sofre algumas variações, apresentando comportamento semelhante a outros já analisados, tendo picos de volumes máximos e volumes mais baixos sem, entretanto, atingir o volume mínimo em qualquer momento dentro do período abordado, fato este que colabora para a inexistência de falhas de atendimento à demanda.



**Figura 8.9** – Comportamento do Reservatório Glória ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

Logo, de uma maneira geral, pôde-se perceber através das análises realizadas com os reservatórios estudados até o momento que, com exceção do reservatório Catolé, cuja demanda não foi atendida, atendem satisfatoriamente as demandas para outorga sendo possível, inclusive, a utilização desses reservatórios para novas demandas. Porém, o atendimento a novas demandas depende do volume armazenado em cada reservatório e, apesar de a maioria dos reservatórios terem garantido atendimento em 100% do tempo a demanda de abastecimento, alguns mostraram redução mais acentuada de seus volumes. Além disso, deve-se lembrar que as demandas para abastecimento foram relativamente baixas. Quantificar a vazão disponível para atendimento a novas demandas não é objetivo desse

cenário, cabendo nesta análise avaliar apenas o atendimento às demandas já existentes. Portanto, o estudo de novas demandas só será realizado no CDHRS e no CDHRP.

#### **8.1.1.1.2 RESERVATÓRIOS DESTINADOS A USOS PRIORITÁRIOS E NÃO PRIORITÁRIOS (ABASTECIMENTO E OUTROS USOS)**

Neste item serão analisados os reservatórios destinados a usos prioritários e não prioritários. Dentro desta classificação, encontram-se os reservatórios Poço Redondo (3 demandas), Bruscas (4 demandas), Cachoeira dos Alves (2 demandas), Saco de Nova Olinda (4 demandas), Queimadas (2 demandas), Frutuoso II (2 demandas) e Cachoeira dos Cegos (4 demandas), que atendem à demanda de abastecimento e outras demandas não prioritárias, como irrigação e piscicultura. Para este cenário, foi considerado que o reservatório Poço Redondo trabalhava com sua capacidade atual ( $10 \text{ hm}^3$ ), por ainda não estar concluído. Para os reservatórios com demanda de irrigação, as culturas perenes e sazonais foram analisadas separadamente, como duas demandas distintas, sendo o atendimento as culturas perenes prioritário ao das culturas sazonais. Nesta análise, a ordem de prioridade definida pela autora foi: abastecimento, irrigação de culturas perenes, irrigação de culturas sazonais, irrigação difusa e piscicultura e está representada através do número do pedido mostrado na Tabela 8.2.

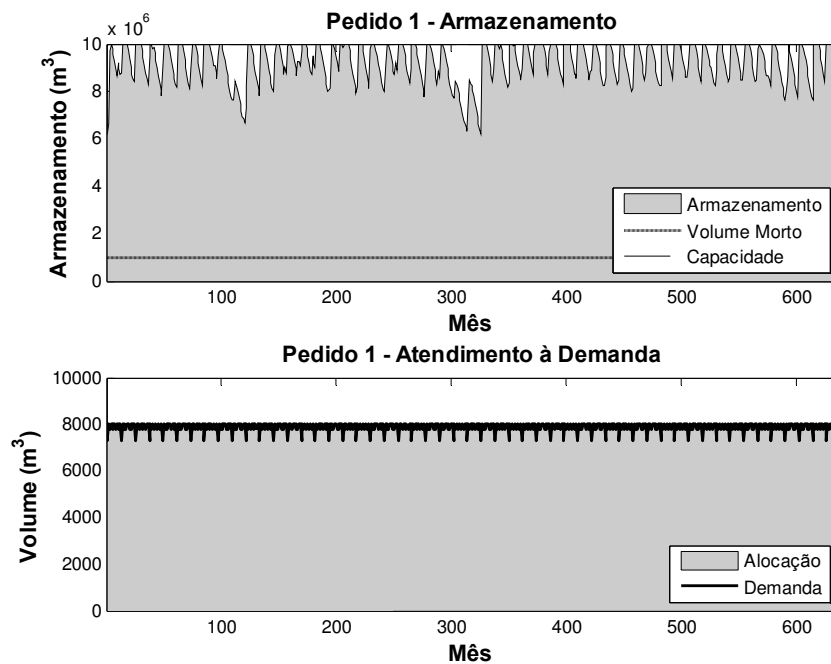
A Tabela 8.2 apresenta os pedidos de outorga para cada reservatório, bem como as demandas médias requeridas para outorga e a garantia global de atendimento a essas demandas obtidos através do modelo de outorga proposto. Observa-se que todos os reservatórios deste grupo atendem satisfatoriamente as demandas de abastecimento. Esta afirmação é comprovada pela garantia de atendimento superior a 90% para todos os reservatórios. A partir da segunda demanda, percebe-se que alguns reservatórios reduzem a capacidade de atendimento. São eles: Cachoeira dos Alves, com 86,64% para piscicultura e Frutuoso, com apenas 5,82% de garantia de atendimento, também, para piscicultura. Para esses reservatórios, caso existissem mais demandas a serem atendidas, certamente não teriam garantias aceitáveis. O reservatório Poço Redondo apresenta problema de atendimento a partir da terceira demanda (86%) referente a irrigação sazonal.

Apenas os reservatórios Bruscas, Saco de Nova Olinda e Cachoeira dos Cegos atendem com garantia de 100% a todos os pedidos de outorga a que estão destinados. Uma análise mais detalhada por pedido de outorga, mostrando como cada reservatório se comporta ao longo do tempo, é apresentada nas Figuras 8.10 a 8.31.

**Tabela 8.2** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos

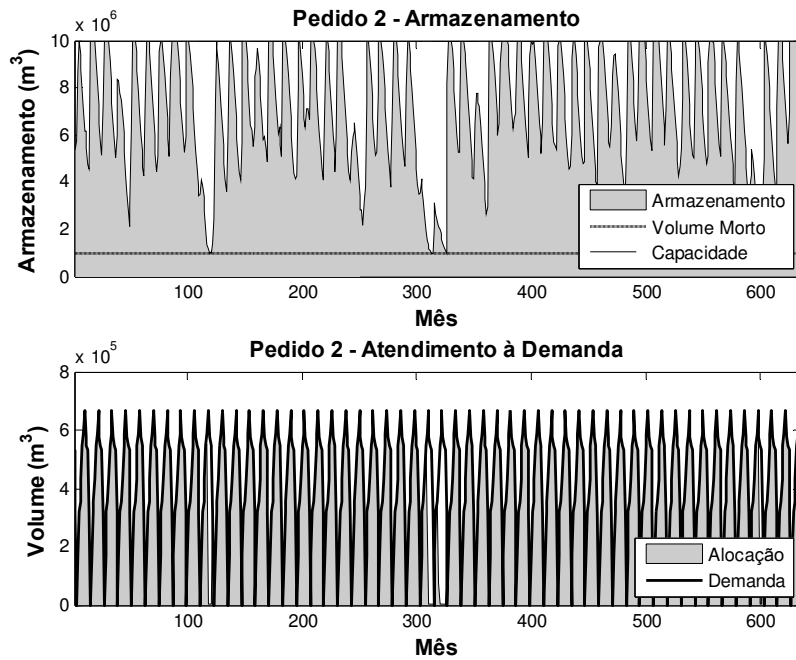
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Poço Redondo	1	Abastecimento	0,0030	100
	2	Irrigação P.Redondo (Perene)	0,1598	96,54
	3	Irrigação P.Redondo (Sazonal)	0,0614	86,00
Bruscas	1	Abastecimento	0,0020	100
	2	Irrigação Bruscas (Perene)	0,1438	100
	3	Irrigação Bruscas (Sazonal)	0,0564	100
	4	Irrigação Difusa	0,0011	100
Cach. dos Alves	1	Abastecimento	0,0470	97,96
	2	Piscicultura	0,0172	86,64
Saco de N. Olinda	1	Abastecimento	0,0070	100
	2	Irrigação Gravatá (Perene)	0,1255	100
	3	Irrigação Gravatá (Sazonal)	0,0489	100
	4	Piscicultura	0,0117	100
Queimadas	1	Abastecimento	0,0070	100
	2	Piscicultura	0,0144	100
Frutuosos II	1	Abastecimento	0,0050	100
	2	Piscicultura	0,2400	5,82
Cach. dos Cegos	1	Abastecimento	0,0040	100
	2	Irrigação Difusa	0,0039	100
	3	Irrigação Difusa	0,0022	100
	4	Irrigação Difusa	0,0058	100

A Figura 8.10 mostra o comportamento do reservatório Poço Redondo ao atender a demanda prioritária de abastecimento. Nota-se, pela figura, que o volume de água armazenado no reservatório é sempre próximo da sua capacidade e, conseqüentemente, suficiente para atender com garantia de 100% a essa demanda. O reservatório também atende satisfatoriamente à segunda demanda, correspondente à irrigação das culturas perenes do perímetro Poço Redondo (Figura 8.11), com garantia de 96,54%. Como a demanda para irrigação é variável mês a mês, existindo inclusive meses com valores nulos (como mostrado na Tabela 6.8, Cap. 6), o gráfico de atendimento a essa demanda torna-se oscilante.

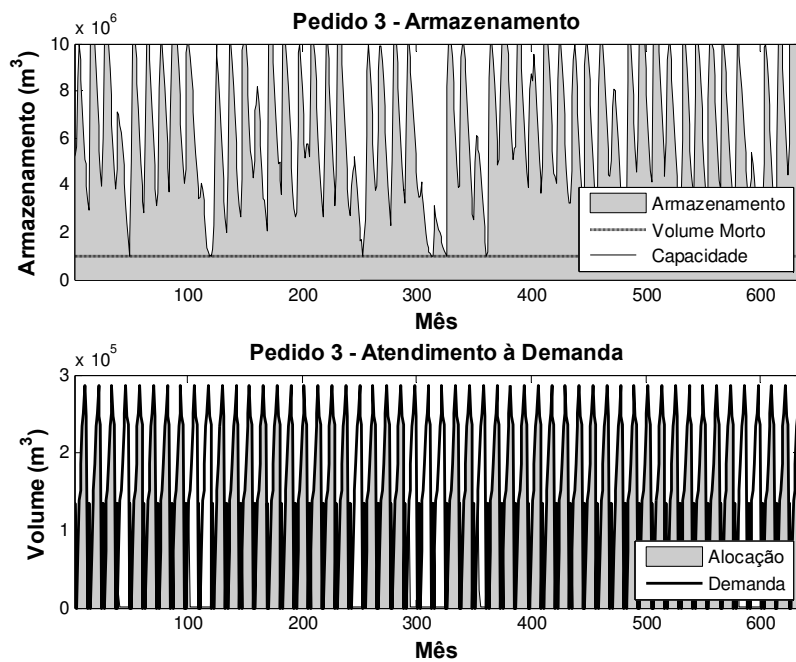


**Figura 8.10** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.

Comparando o volume armazenado no reservatório nos pedidos 1 e 2 (Figuras 8.10 e 8.11), ou seja, prioridades 1 e 2, nota-se uma queda razoável desse volume, ficando, em determinado período de tempo (após os meses 100 e 300 - Figura 8.11), para o atendimento do pedido 2, próximo ao mínimo. Esse fato se dá porque a demanda para irrigação é bem maior que a demanda para abastecimento. Devido a essa diminuição de volume, a terceira demanda (irrigação das culturas sazonais do perímetro Poço Redondo), na ordem de prioridades, representada pela Figura 8.12, fica comprometida. Observa-se, pela figura, que o reservatório atende a essa demanda com uma garantia de 86%, pouco inferior ao nível de garantia aceitável (90%), que corresponde, proporcionalmente em termos de área, a irrigação de 129 ha, ou seja, 21 ha a menos que a área do plantio (150 ha). Logo, o reservatório Poço Redondo, com a capacidade atual, não é capaz de atender a todas as suas demandas de maneira satisfatória.

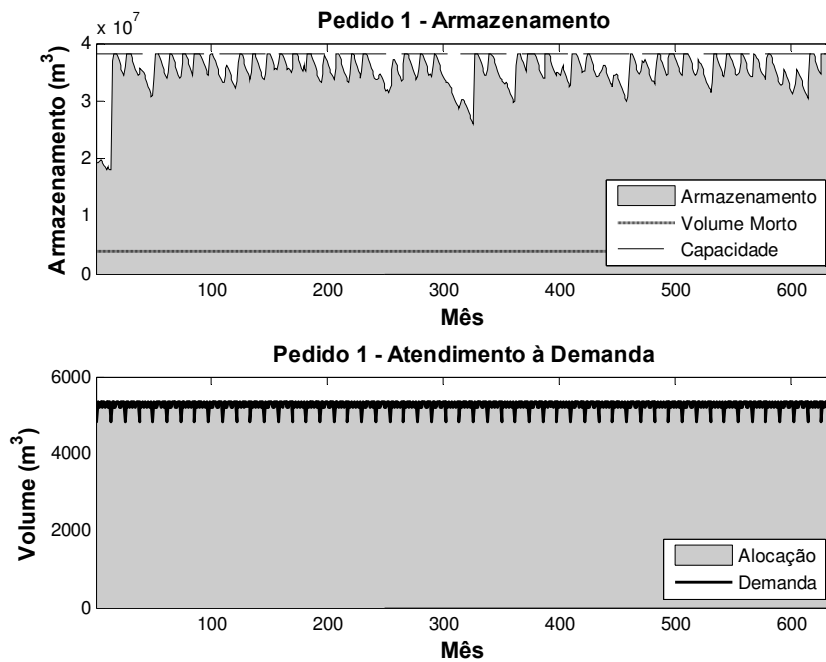


**Figura 8.11** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes.

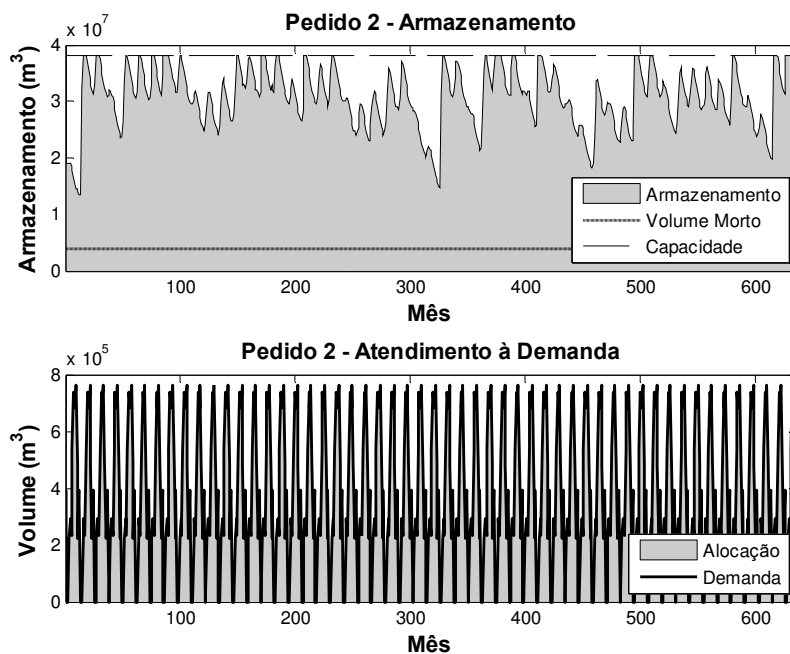


**Figura 8.12** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Poço Redondo.

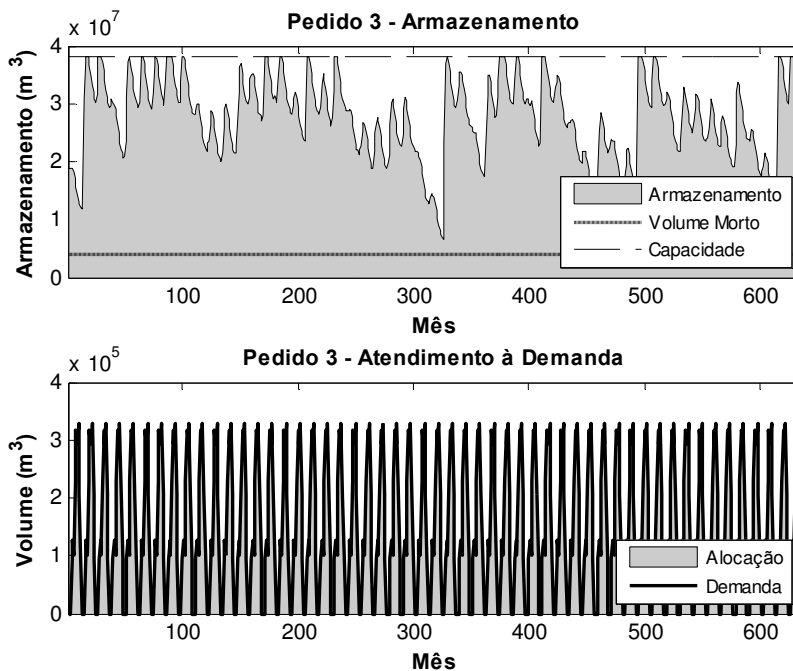
O estudo do volume armazenado e dos pedidos de outorga do reservatório Bruscas para abastecimento, irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro de Bruscas e irrigação difusa são mostrados, respectivamente, nas Figuras 8.13, 8.14, 8.15 e 8.16. Com relação ao volume do reservatório, percebe-se uma pequena diminuição do volume de água armazenado após o atendimento do pedido 1 (Figuras 8.13), em comparação com os pedidos 2 (Figuras 8.14) e 3 (Figuras 8.15), quando ocorre um grande aumento de demanda, pois o volume outorgado para perímetros irrigados é grande se comparado o outorgado para abastecimento. Já do pedido 3 para o pedido 4 (Figuras 8.15 e 8.16), observa-se pouca variação do volume armazenado, visto que o volume outorgado para irrigação difusa é pequeno. Apesar da sensível redução do volume armazenado do pedido 1 até o pedido 4, o reservatório Bruscas consegue atender a todas as demandas, com nível de garantia de 100%, ainda deixando reserva para o atendimento de novas demandas.



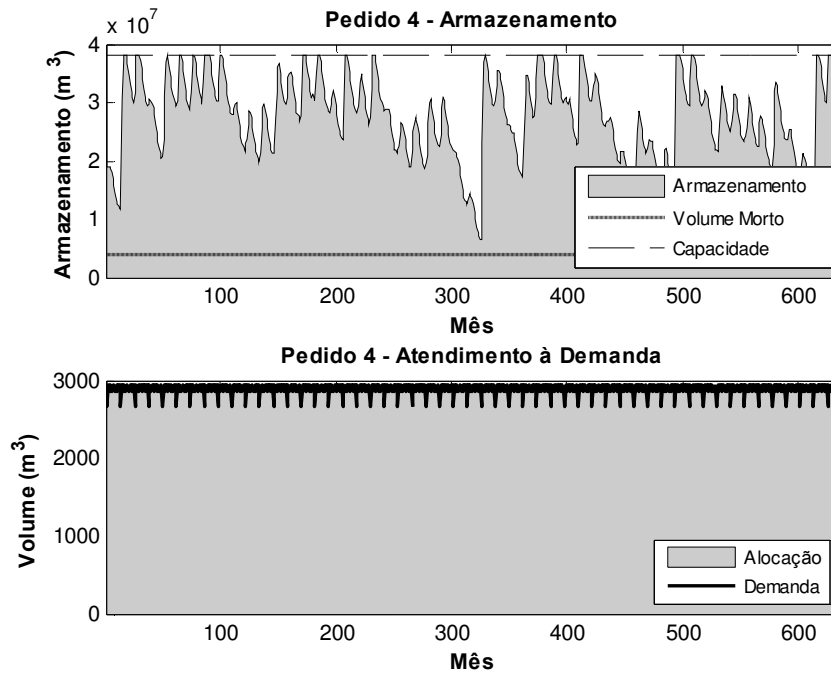
**Figura 8.13** – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.



**Figura 8.14** – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Bruscas.



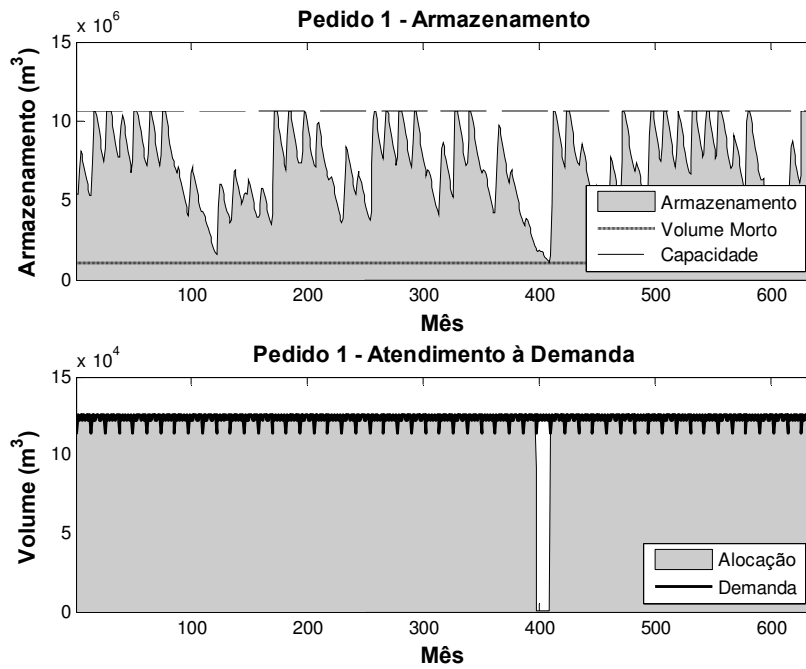
**Figura 8.15** – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Bruscas.



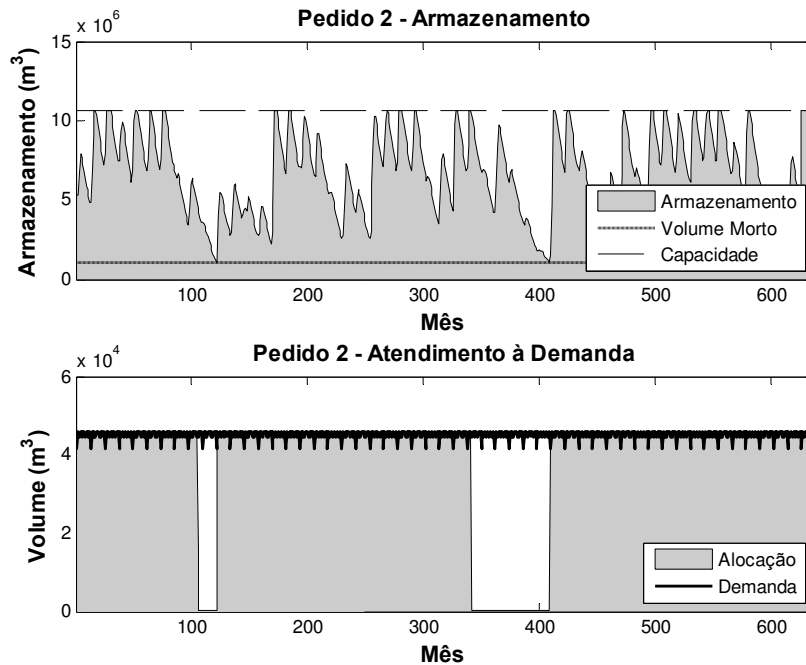
**Figura 8.16** – Comportamento do Reservatório Bruscas ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa.

As Figuras 8.17 e 8.18 mostram o comportamento do reservatório de Cachoeira dos Alves, para atendimento às demandas de abastecimento (pedido 1) e piscicultura (pedido 2). Como ilustrado na Figura 8.17, já para o primeiro pedido de outorga, o volume armazenado no reservatório oscila frequentemente, ficando alguns períodos bem próximos do volume mínimo (após o mês 100) e até mesmo atingindo esse limite (após o mês 400), fato este que ocasiona os meses com falhas de atendimento. Apesar dessas falhas, o reservatório ainda consegue atender a demanda de abastecimento com garantia de, aproximadamente, 98%. No entanto, a retirada de água para essa demanda já compromete o reservatório para o segundo pedido de outorga (piscicultura). Este, apesar de pequeno, só é garantido em 86,67% do tempo, devido à ocorrência de dois períodos de falhas ao longo do tempo observado (representado pelas partes brancas não preenchidas no gráfico do atendimento a demanda), sendo o segundo consideravelmente longo (alguns meses), como mostrado na Figura 8.18. Portanto, o reservatório Cachoeira dos Alves (com sua capacidade de  $10,61 \text{ hm}^3$ ) não é capaz de atender satisfatoriamente às demandas a que está destinado.





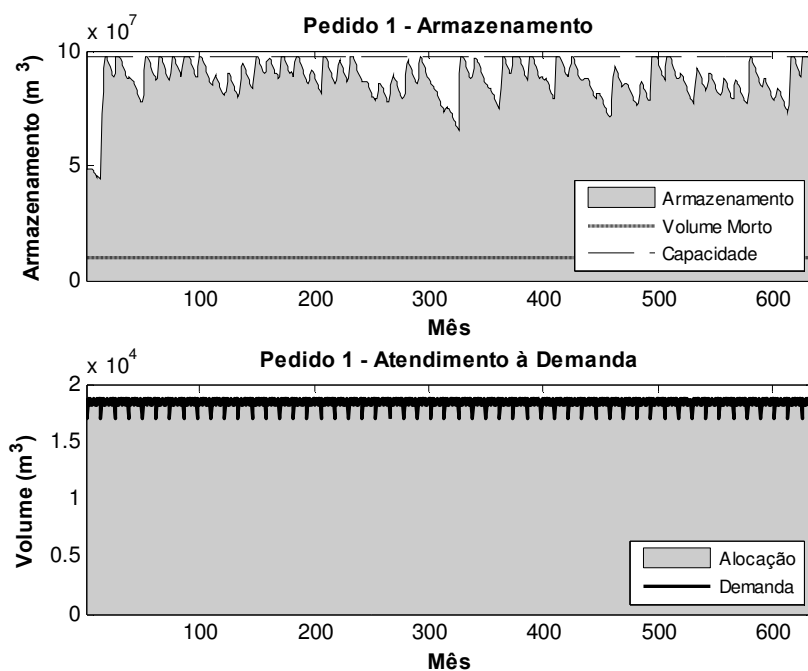
**Figura 8.17** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.



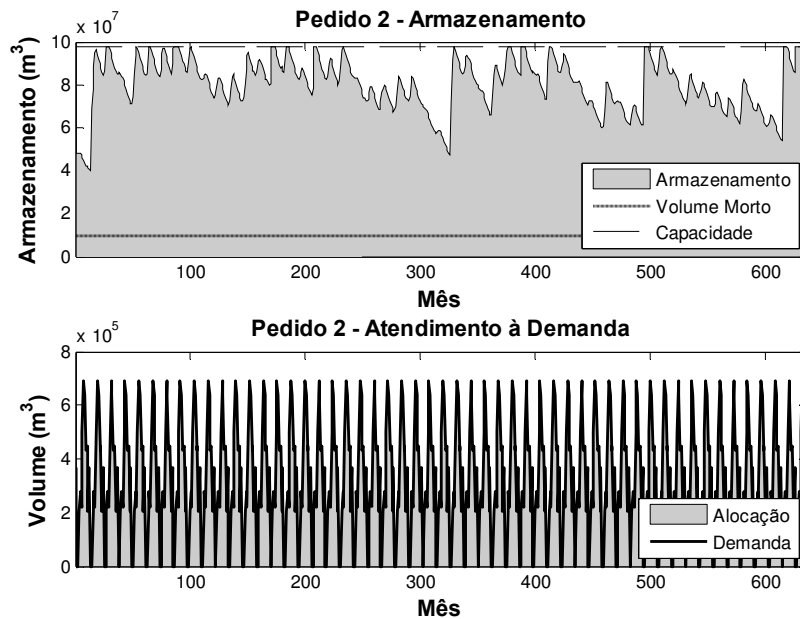
**Figura 8.18** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Alves ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.

O atendimento às quatro demandas outorgadas para o reservatório Saco de Nova Olinda são apresentados nas Figuras 8.19 a 8.22. Em paralelo, também foi observado o armazenamento desse reservatório à medida que as demandas são atendidas.

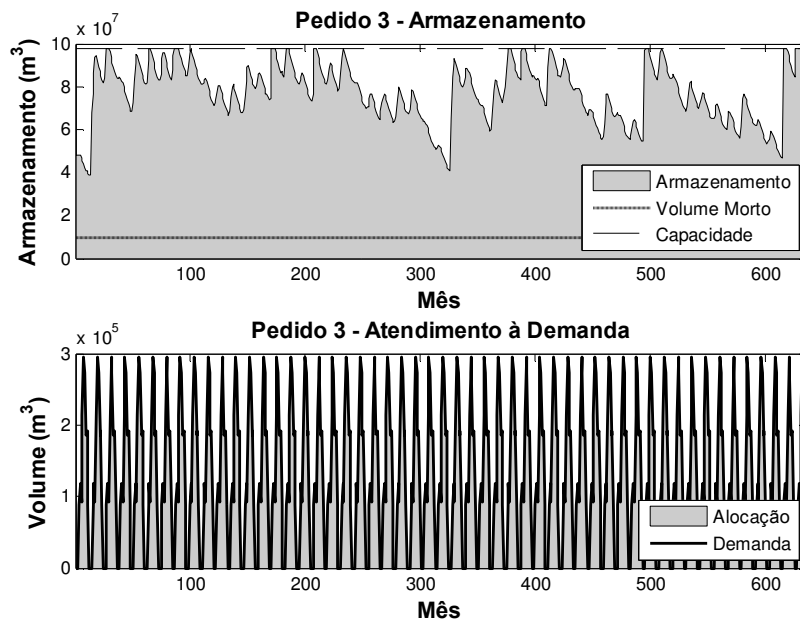
De acordo com a Figura 8.19, o reservatório, no início deste estudo, mostra um bom nível de armazenamento, atendendo facilmente à demanda de abastecimento (pedido 1). Com a retirada para atender à segunda demanda (irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá), o volume armazenado sofre diminuição, como mostrado na Figura 8.20, sem, no entanto, comprometer o atendimento das próximas demandas. O reservatório teve afluxos suficientes para atender às demandas de irrigação de culturas sazonais do perímetro Gravatá, e de piscicultura (Figuras 8.21 e 8.22, respectivamente), com garantia de 100%. Portanto, o reservatório Saco de Nova Olinda, com sua capacidade de  $97,48 \text{ hm}^3$ , atende satisfatoriamente aos pedidos de outorga a ele dirigidos e ainda mantém uma reserva para novas demandas.



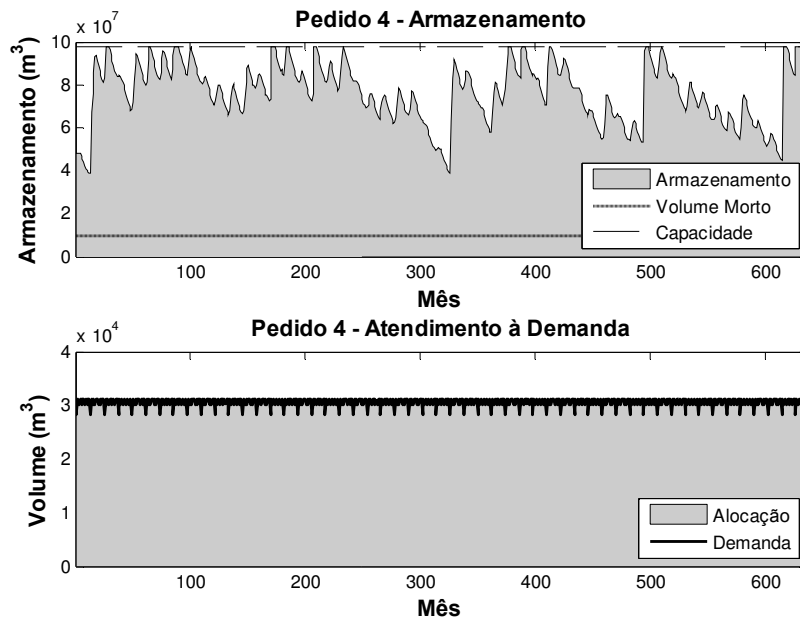
**Figura 8.19** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.



**Figura 8.20** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá.

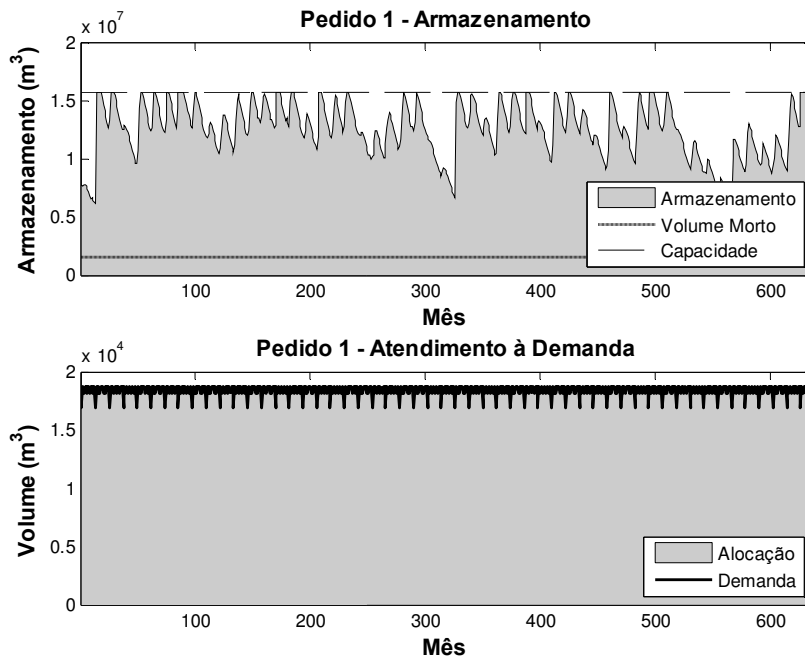


**Figura 8.21** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado de Gravatá.

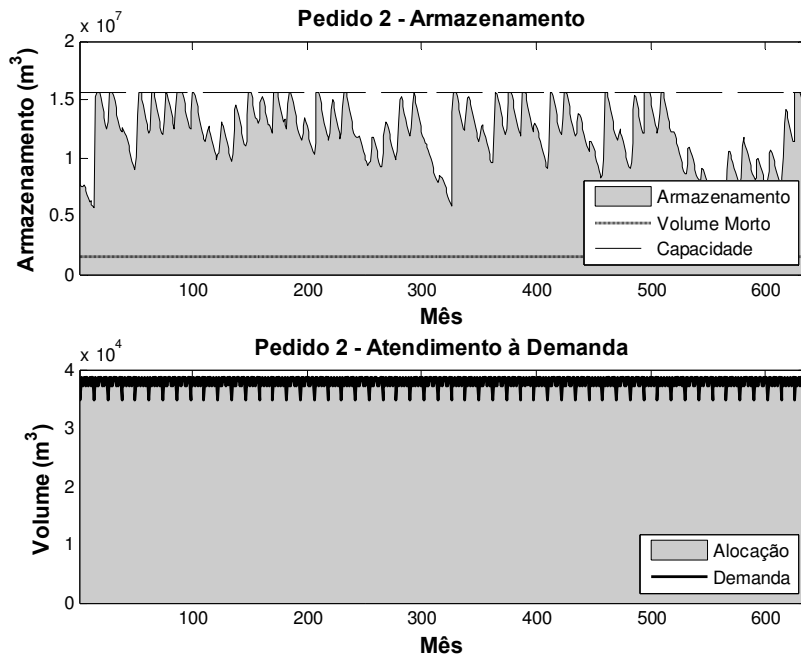


**Figura 8.22** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura.

As Figuras 8.23 e 8.24 apresentam o comportamento do reservatório Queimadas, ao longo do tempo, quando consideradas as demandas de abastecimento e piscicultura, respectivamente. Segundo a Figura 8.23, o atendimento à demanda de abastecimento é realizado com 100% de garantia. Também para a segunda demanda (Figura 8.24), o atendimento é completo e sem falhas. Conclui-se que o reservatório Queimadas, com sua capacidade de  $36,85 \text{ hm}^3$ , atende eficientemente os pedidos de outorga a ele ligados, com nível de garantia satisfatório, deixando reservas para atender a novas demandas.

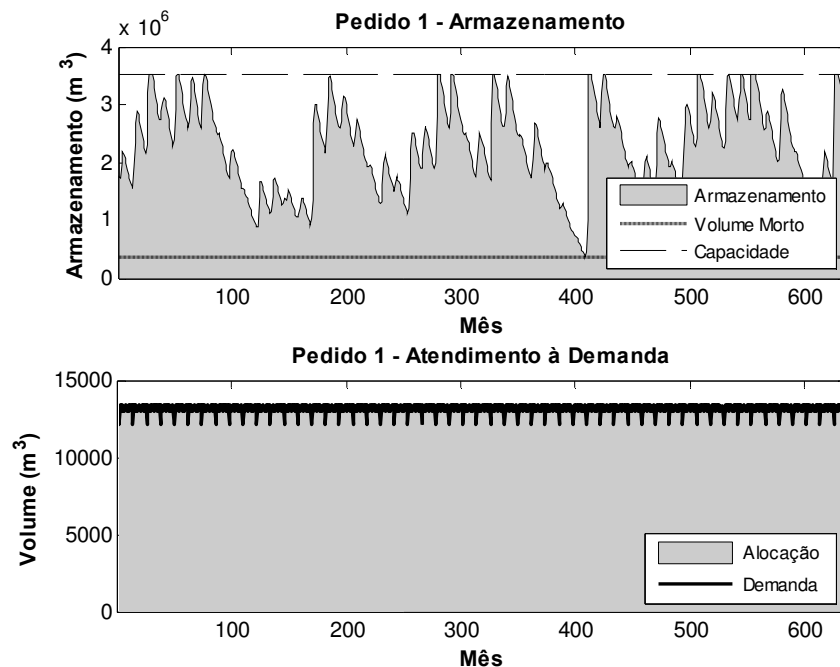


**Figura 8.23** – Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

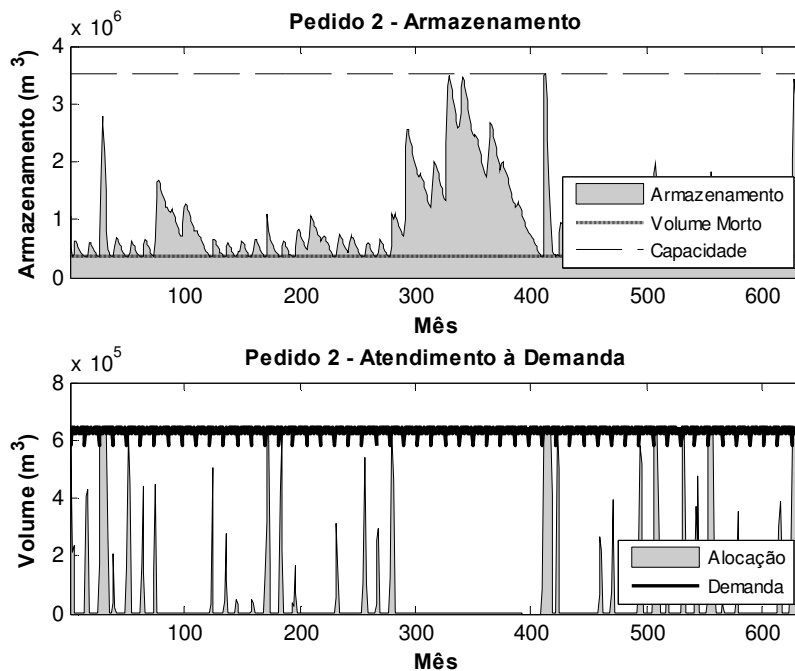


**Figura 8.24** – Comportamento do Reservatório Queimadas ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura.

O volume armazenado e os atendimentos às demandas de abastecimento e piscicultura, relacionados ao reservatório de Frutuoso II, são analisados como mostram as Figuras 8.25 e 8.26, respectivamente. Com relação ao volume armazenado, percebe-se uma grande variabilidade, quando atende 100% da pequena demanda de abastecimento (Figura 8.25), chegando bem próximo do mínimo num determinado período do tempo estudado (após o mês 400) e, também, atingindo picos de volume máximo ao longo dos meses. No entanto, a demanda para piscicultura (Figura 8.26), apesar de também ser pequena, fica bastante comprometida, sendo atendida em apenas 5,82% do tempo. Comparando, os períodos de falhas de atendimento à demanda com os volumes armazenados (Figura 8.26), percebe-se que, em alguns casos, as falhas existem mesmo havendo água no reservatório (por exemplo, entre os meses 300 e 400), isso se dá porque o modelo avalia os pedidos de outorga, sempre deixando um volume para as demandas já atendidas. Então, neste caso, o volume existente no reservatório tem, como destino, o atendimento à demanda do pedido 1, em meses posteriores, garantindo assim seu atendimento.



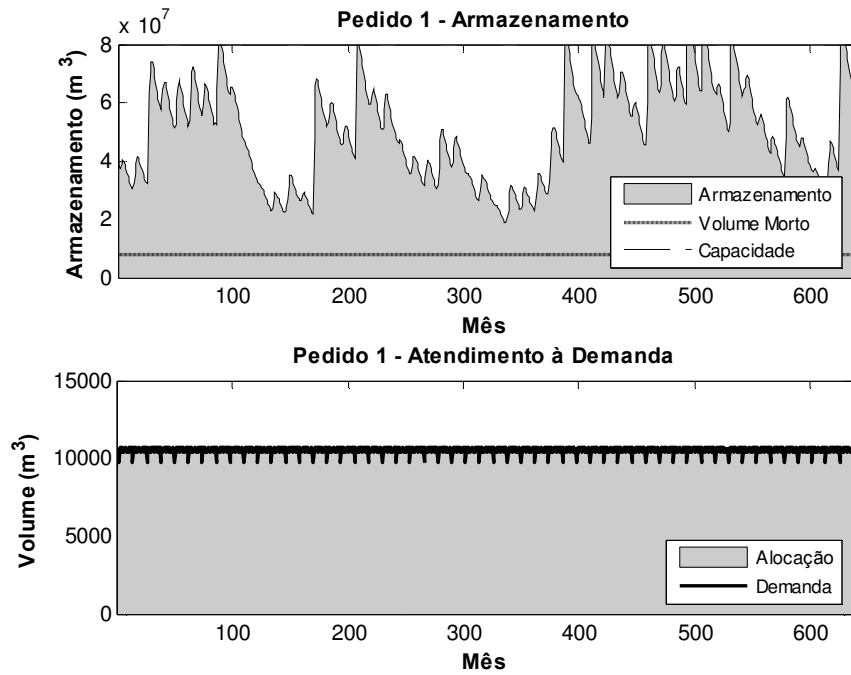
**Figura 8.25** – Comportamento do Reservatório Frutuoso II ao longo do tempo para atendimento a demanda de abastecimento.



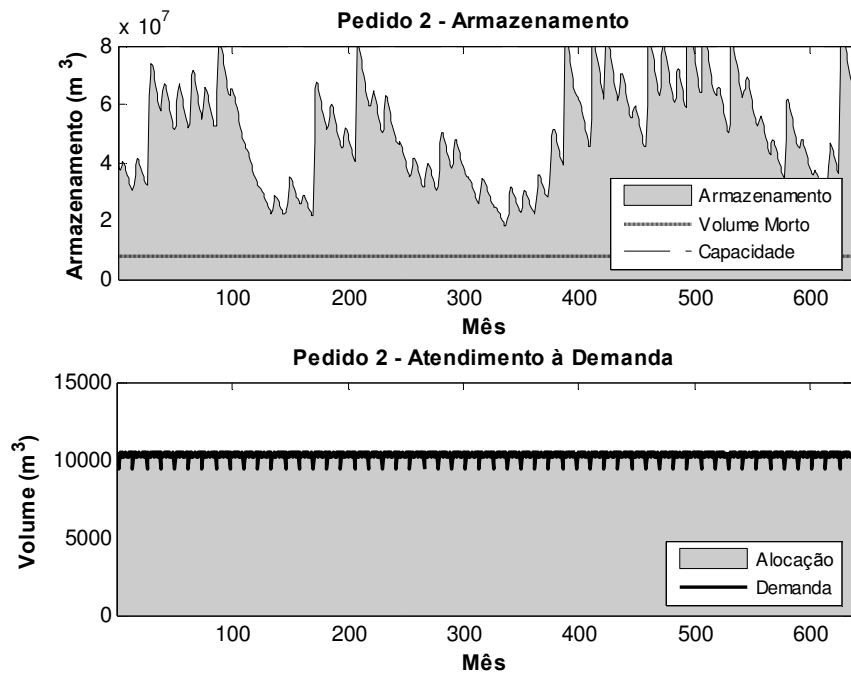
**Figura 8.26** – Comportamento do Reservatório Frutuoso II ao longo do tempo para atendimento a demanda de piscicultura.

Logo, o reservatório Frutuoso II, classificado como de pequeno porte, com capacidade de  $3,52 \text{ hm}^3$ , não atende às demandas a ele destinadas. Para que as demandas fossem atendidas satisfatoriamente, seria necessário que o reservatório recebesse contribuição de outros sistemas.

O reservatório Cachoeira dos Cegos é o último a ser analisado no grupo destinado ao atendimento de demandas de uso prioritário e não prioritários. Os estudos referentes a este reservatório estão mostrados nas Figuras 8.27 a 8.30. Este reservatório, igualmente à outros já analisados, apresenta, em alguns meses, um nível máximo em volume armazenado e equilibram o sistema, proporcionando um atendimento satisfatório e sem falhas para todas as demandas requeridas. Por outro lado, suas demandas são relativamente baixas e contribuem para garantir com êxito esse atendimento, além de, aparentemente, causar pouca variabilidade nos volumes mensais do reservatório. Conclui-se que o volume do reservatório é suficiente para atender a todos os pedidos de outorga, no entanto, a reserva deixada, em alguns meses, é relativamente pequena e possivelmente comprometerá o atendimento a novas demandas, desde que sejam significativas.

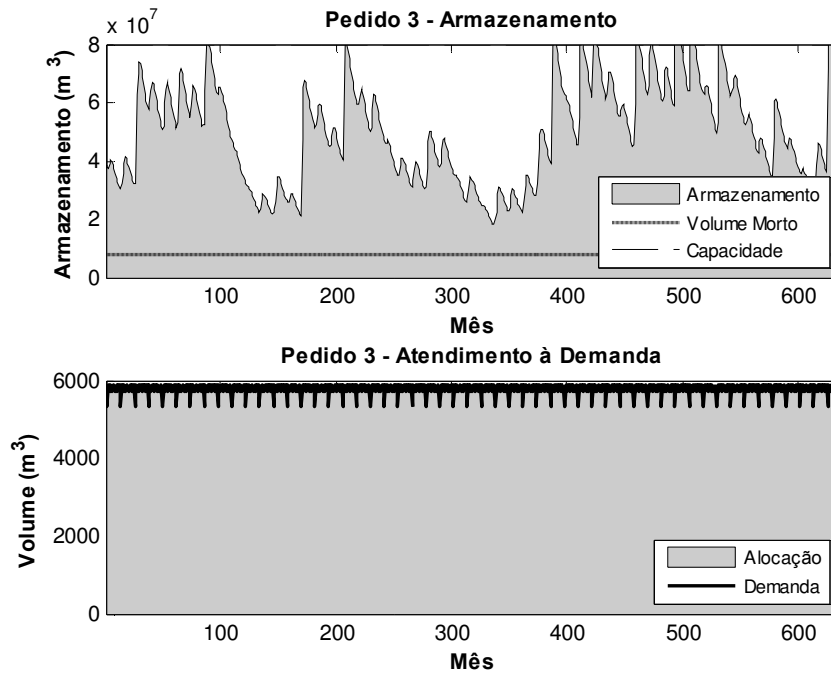


**Figura 8.27** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento.

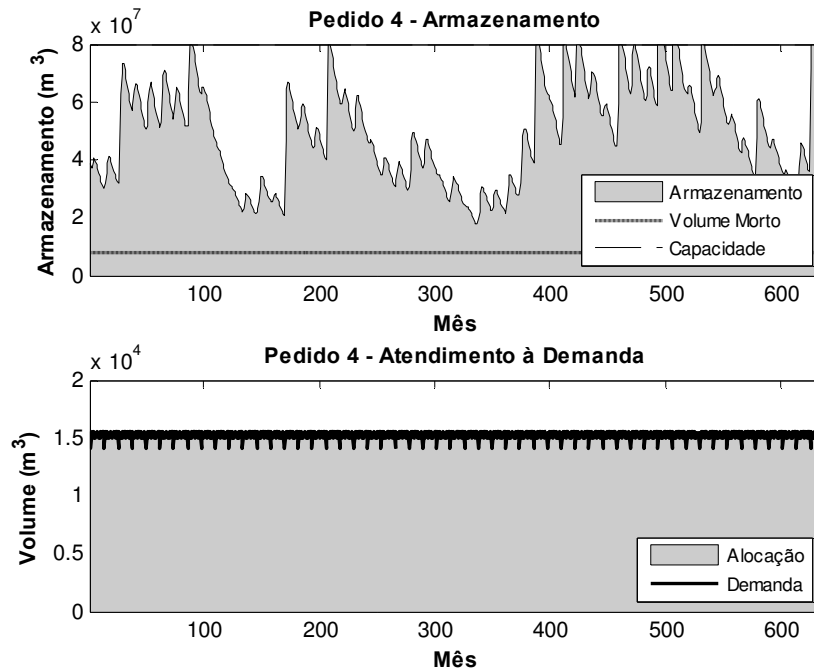


**Figura 8.28** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento a demanda de irrigação difusa (pedido 1).





**Figura 8.29** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 2).



**Figura 8.30** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 3).

Em uma análise global desse grupo, nota-se que, dos sete reservatórios analisados, apenas quatro (Bruscas, Saco, Queimadas e Cachoeira dos Cegos) atendem a todas as suas demandas com garantias satisfatórias. Os demais apresentam ao menos uma demanda com falhas de atendimento superior a 10%.

#### **8.1.1.1.3 RESERVATÓRIOS DESTINADOS A USOS NÃO PRIORITÁRIOS (OUTROS USOS)**

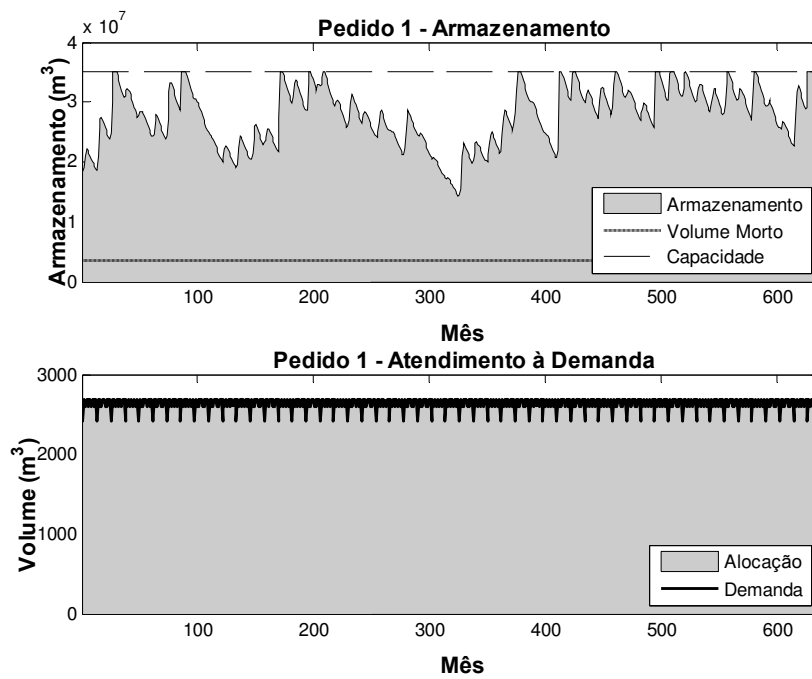
A análise dos reservatórios destinados apenas a usos não prioritários é feita neste item. Os reservatórios Condado, Vazante, Vidéo, Canoas e Timbaúba encontram-se dentro dessa categoria, tendo basicamente, como demandas, a irrigação e a piscicultura. Para essa análise, considerou-se a seguinte ordem de prioridade de atendimento às demandas: irrigação de perímetros (culturas perenes), irrigação de perímetros (culturas sazonais), irrigação difusa (por data de requerimento) e piscicultura (por data de requerimento). Atribuiu-se, também, nessa análise, uma capacidade de 10 hm<sup>3</sup> para o reservatório Canoas, ou seja, o valor atual. A Tabela 8.3 traz a descrição dos pedidos de outorga por reservatório assim como as demandas médias requeridas para cada pedido e a garantia média de atendimento a essas demandas.

De acordo com a Tabela 8.3, todos os reservatórios deste grupo atendem, com garantia satisfatória, o primeiro pedido de outorga. Com exceção de Vidéo (com 84,75% e 44,65%), os outros reservatórios com mais de uma demanda garantem, adequadamente, os pedidos secundários e terciários de outorga. No reservatório Timbaúba, as falhas de atendimento iniciam-se a partir da quinta demanda. Maiores detalhes para cada pedido de outorga, individualmente, mostrando como cada reservatório se comporta ao longo do tempo, são apresentados nas Figuras 8.31 a 8.66.

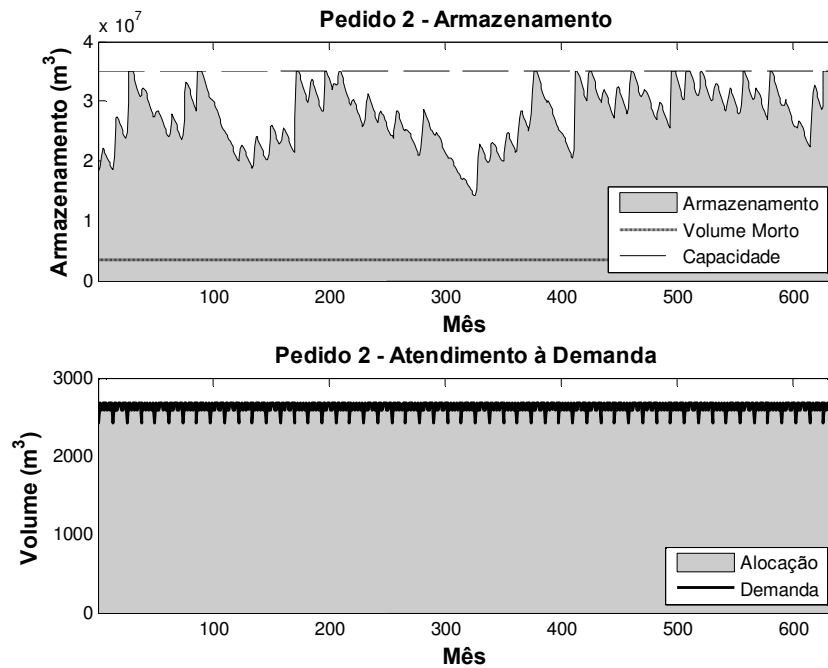
As Figuras 8.31 e 8.32, apesar de muito parecidas, mostram como se comporta o reservatório Condado, no atendimento às demandas de piscicultura. De acordo com a figura, as retiradas de água, para suprir as demandas, causam praticamente nenhuma modificação no volume armazenado do reservatório, que é caracterizado por ter alguns meses atingindo a sua capacidade volumétrica.

**Tabela 8.3 – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a usos não prioritários**

Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Condado	1	Piscicultura	0,0010	100
	2	Piscicultura	0,0010	100
Vazante	1	Irrigação Difusa	0,0039	100
Video	1	Irrigação Difusa	0,0042	99,84
	2	Irrigação Difusa	0,0042	84,75
	3	Irrigação Difusa	0,0042	44,65
Canoas	1	Irrigação Gravatá (Perene)	0,1255	99,84
	2	Irrigação Gravatá (Sazonal)	0,0489	96,07
	3	Piscicultura	0,01165	94,81
Timbaúba	1	Irrigação Difusa	0,0028	100
	2	Irrigação Difusa	0,0069	100
	3	Irrigação Difusa	0,0064	100
	4	Irrigação Difusa	0,0083	98,74
	5	Irrigação Difusa	0,0086	16,98
	6	Irrigação Difusa	0,0033	6,60
	7	Irrigação Difusa	0,0089	4,87
	8	Irrigação Difusa	0,0022	1,41
	9	Irrigação Difusa	0,0131	0,00
	10	Irrigação Difusa	0,0086	0,00
	11	Irrigação Difusa	0,0067	0,00
	12	Irrigação Difusa	0,0086	0,00
	13	Irrigação Difusa	0,0086	0,00
	14	Irrigação Difusa	0,0103	0,00
	15	Irrigação Difusa	0,0067	0,00
	16	Irrigação Difusa	0,0064	0,00
	17	Irrigação Difusa	0,0081	0,00
	18	Irrigação Difusa	0,0047	0,00
	19	Irrigação Difusa	0,0067	0,00
	20	Irrigação Difusa	0,0086	0,00
	21	Irrigação Difusa	0,0086	0,00
	22	Irrigação Difusa	0,0028	0,00
	23	Irrigação Difusa	0,0075	0,00
	24	Irrigação Difusa	0,0089	0,00
	25	Irrigação Difusa	0,0025	0,00
	26	Irrigação Difusa	0,0092	0,00
	27	Irrigação Difusa	0,0086	0,00



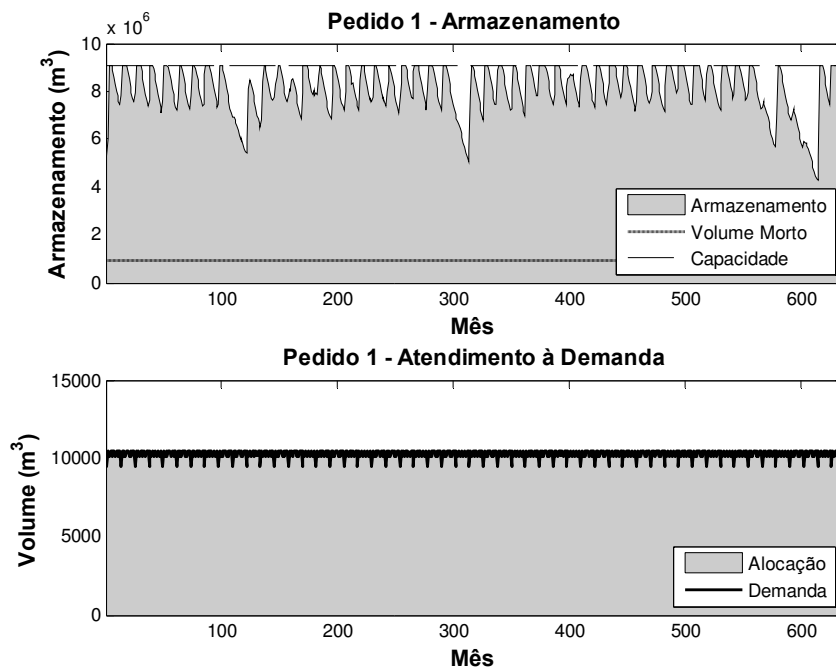
**Figura 8.31** – Comportamento do Reservatório Condado ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura (pedido 1).



**Figura 8.32** – Comportamento do Reservatório Condado ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura (pedido 2).

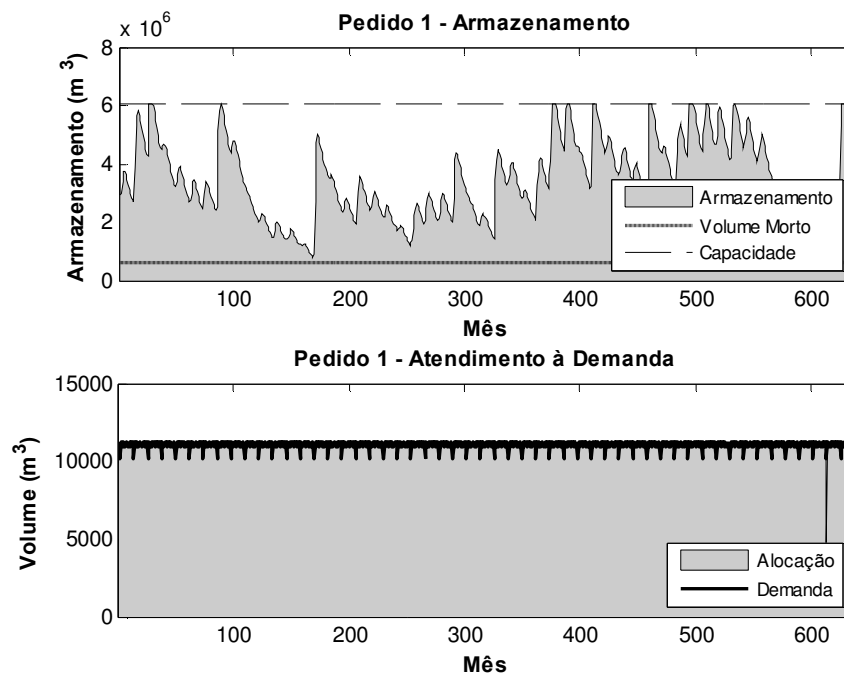
Ainda na Figura 8.31 é observado que, para todos os meses do período estudado, o atendimento à demanda é realizado com garantia de 100%, não havendo, portanto, a ocorrência de falhas. O mesmo ocorre com o segundo pedido (Figura 8.32). Para este caso, o atendimento completo e sem falhas dos pedidos de outorga se dá, também, devido às demandas serem relativamente baixas. Logo, o reservatório Condado, com capacidade de 35,01 hm<sup>3</sup>, atende de maneira satisfatória às demandas a ele destinadas, além de deixar reservas para o atendimento a novas demandas.

O reservatório Vazante possui um único pedido de outorga. O atendimento a esse pedido, bem como o volume armazenado ao longo do tempo, são apresentados na Figura 8.33. Pela figura, percebe-se que o volume armazenado está, na grande maioria do tempo, próximo à capacidade do reservatório. A demanda para irrigação difusa é atendida totalmente, porém pela classificação com relação ao seu porte (sendo de porte médio segundo a Tabela 4.14), o reservatório Vazante não possui uma alta disponibilidade para atender usos que requerem elevadas demandas de água.

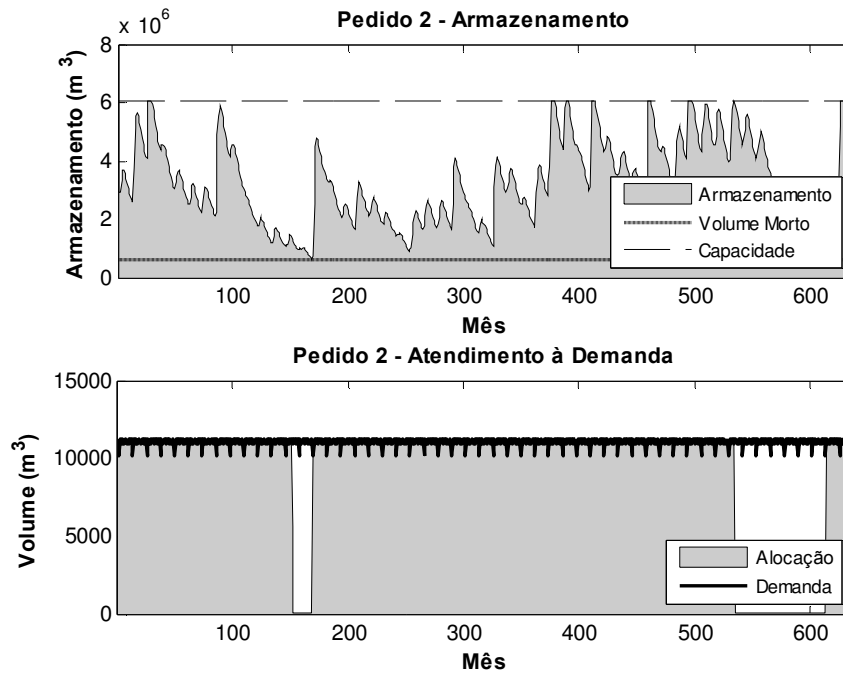


**Figura 8.33** – Comportamento do Reservatório Vazante ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa.

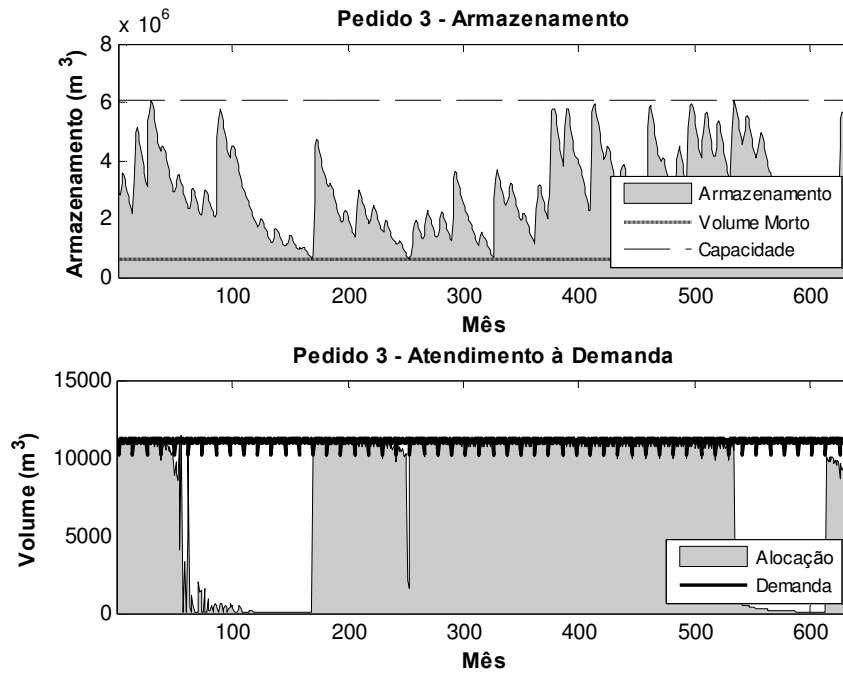
O terceiro reservatório a ser estudado nesta categoria é o reservatório Vidéo. As Figuras 8.34 a 8.36 mostram o volume armazenado desse reservatório e o atendimento aos três pedidos de outorga, todos de irrigação difusa, a ele dirigidos. A primeira demanda (Figura 8.34) é atendida satisfatoriamente, porém com um pequeno percentual de falhas no final do período observado (próximo ao mês 600), gerando uma garantia de 99,84%. Para a segunda demanda (Figura 8.35), as falhas são mais frequentes, em consequência da diminuição do volume armazenado, que já era baixo após o atendimento da primeira demanda. Neste caso, o reservatório não consegue gerar uma garantia superior a 90% como deveria, ficando em torno de 85%. Por fim, o último pedido de outorga (Figura 8.36) fica bastante comprometido, tendo garantia de apenas 44,65%, pois o volume armazenado no reservatório chega, por várias vezes ao longo dos meses, a atingir o mínimo operacional estabelecido. Logo, o reservatório Vidéo (com capacidade de  $6,04 \text{ hm}^3$ ) não consegue atender a todas as demandas. Igualmente ao observado no reservatório Frutuoso II (Figura 8.36) percebe-se em Vidéo a existência de falhas (entre os meses 50 a 200) mesmo havendo água armazenada no reservatório. A explicação para este fato é a mesma já comentada, anteriormente, para o reservatório Frutuoso II.



**Figura 8.34** – Comportamento do Reservatório Vidéo ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 1).

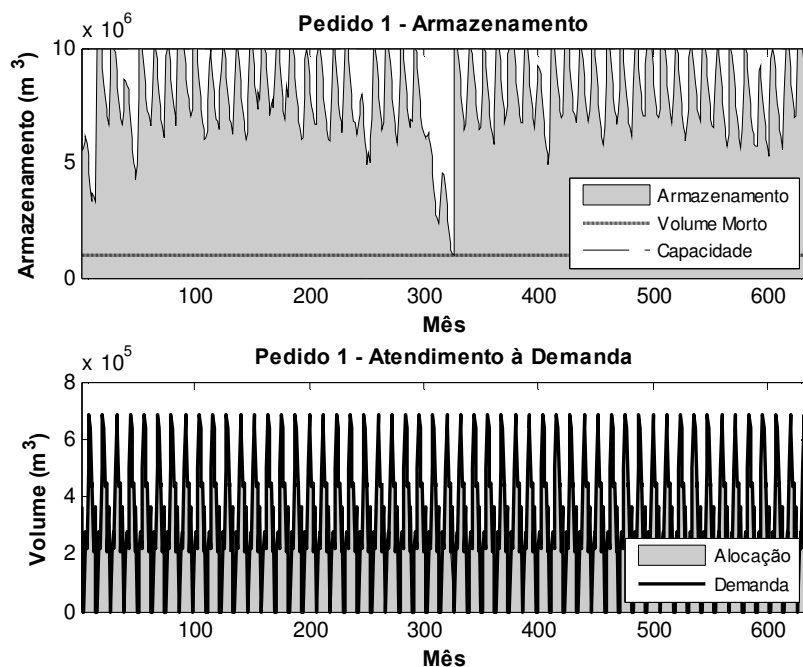


**Figura 8.35** – Comportamento do Reservatório Vidéo ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 2).



**Figura 8.36** – Comportamento do Reservatório Vidéo ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 3).

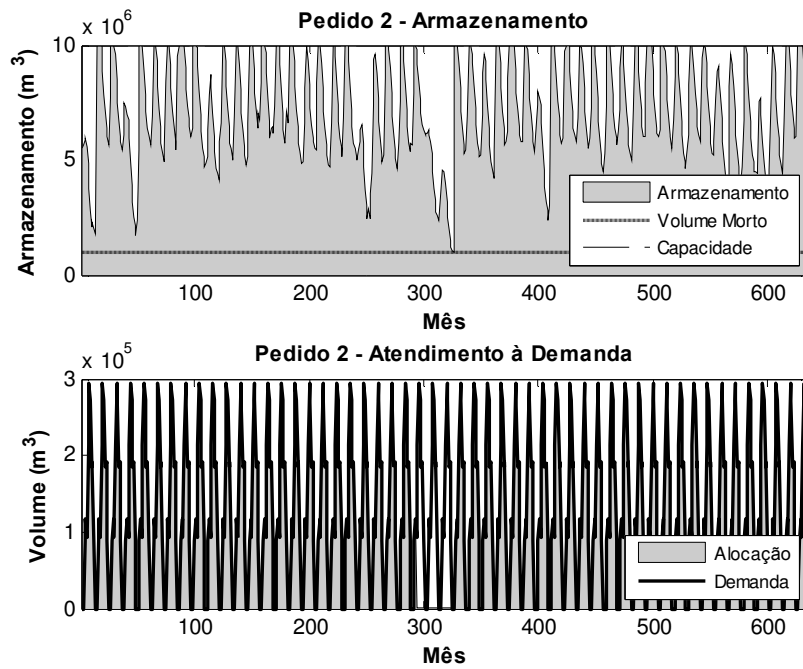
Nas Figuras 8.37 a 8.39 é analisado o comportamento do reservatório Canoas, ao longo do tempo, no atendimento à demanda de irrigação das culturas perene e sazonal do perímetro Gravatá, bem como a demanda de piscicultura, considerando que o mesmo trabalhe com a capacidade atual de  $10 \text{ hm}^3$ . A Figura 8.37 mostra que o volume armazenado no reservatório mantêm-se regular em grande parte do período observado, exceto em um pequeno período compreendido entre os meses 300 e 400 em que o volume armazenado atinge o volume morto ocasionando um atendimento com garantia de 99,84% para a demanda do perímetro irrigado de Gravatá (culturas perenes).



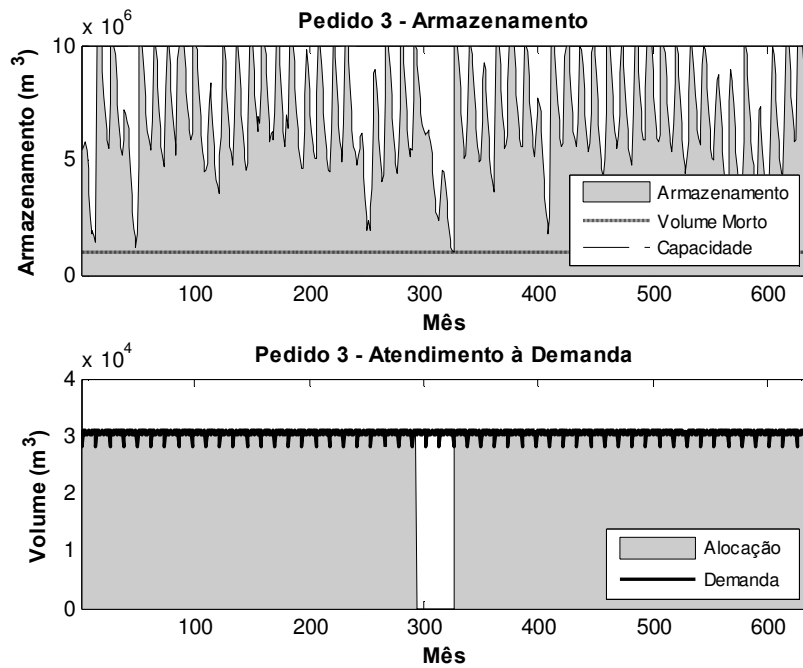
**Figura 8.37** – Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado de Gravatá.

Comparando as Figuras 8.37 e 8.38, nota-se uma redução do volume armazenado no reservatório, inclusive atingindo valores próximo ao volume mínimo estabelecido, em alguns meses do período de tempo estudado (entre os meses 0 a 100 e 300 a 400). Essa redução se dá devido à elevada retirada de água, quando somadas às demandas das culturas perenes e sazonais do perímetro de Gravatá. No entanto, o reservatório ainda atende com quase 96,07% de garantia a segunda demanda. A terceira demanda (piscicultura), por ser pequena, ocasiona um decréscimo mais discreto do volume armazenado, como mostra a Figura 8.39. Essa demanda também é atendida satisfatoriamente, com garantia de 94,81%.





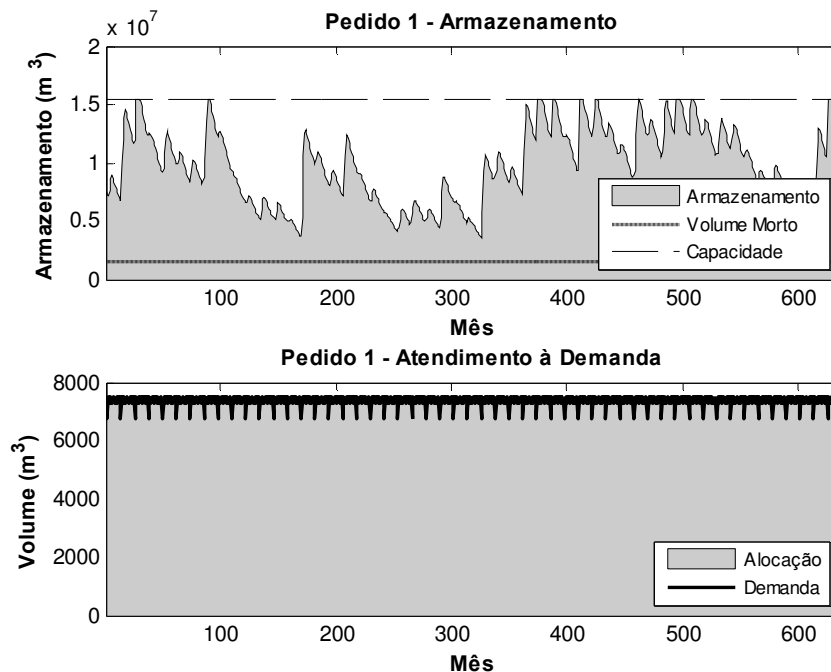
**Figura 8.38** – Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado de Gravatá.



**Figura 8.39** – Comportamento do Reservatório Canoas ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura.

Logo, o reservatório Canoas com sua capacidade atual (ou seja, não concluído), atende aos três pedidos de outorga a ele dirigidos. Entretanto, devido ao volume armazenado ter atingido valores próximos ao seu mínimo em vários meses, novas demandas, que futuramente venham a ser requeridas, provavelmente, não serão atendidas com garantias superiores a 90%.

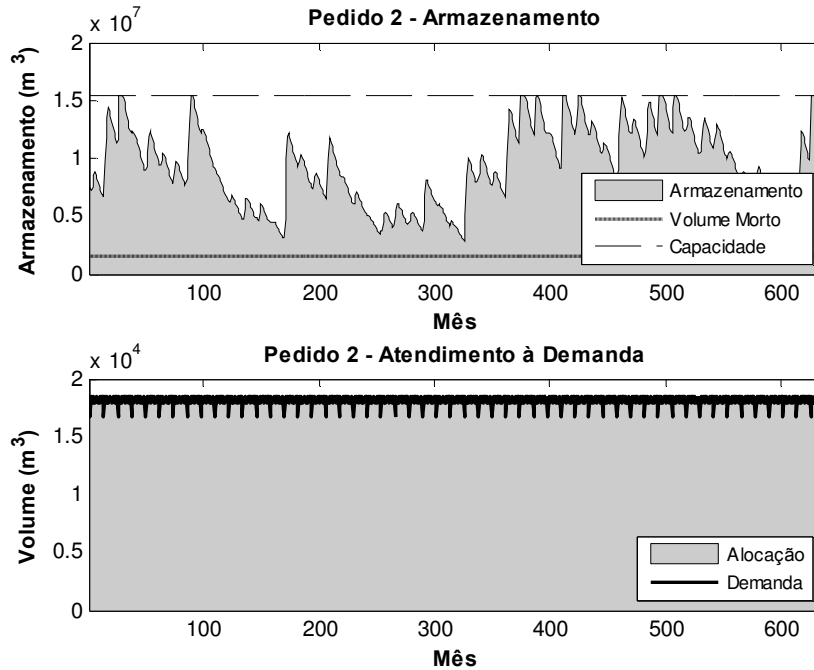
O reservatório Timbaúba, considerado como de médio porte, possui vários pedidos de outorga, todos destinados a pequenos irrigantes (irrigação difusa). O volume armazenado no reservatório, após o atendimento de cada pedido de outorga, e o próprio atendimento a esses pedidos estão apresentados nas Figuras 8.40 a 8.66.



**Figura 8.40** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 1).

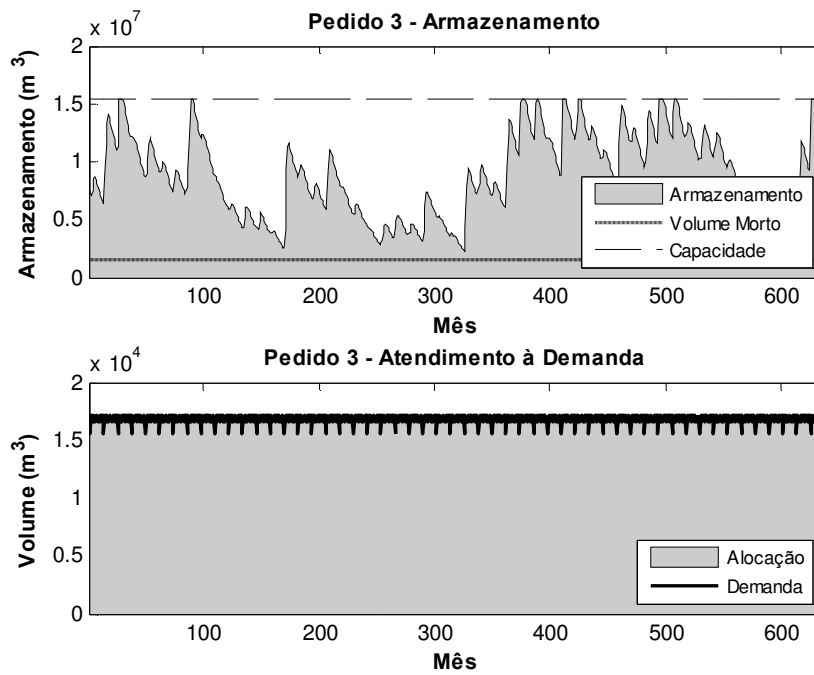
Os pedidos de outorga foram atendidos, a partir dos mais antigos até os mais recentes. A Figura 8.40 mostra o comportamento do atendimento ao primeiro pedido, ao longo do período de tempo estudado. Nota-se que o volume armazenado neste reservatório é variável apresentando poucos períodos de máximo e vários períodos próximos ao mínimo (entre os meses 100 a 200 e 250 a 350). No entanto, esse pedido é atendido plenamente em todos os meses da série. Como as demandas para irrigação difusa são relativamente baixas, o volume armazenado, apesar de irregular, sofre pouquíssimas variações, sendo reduzido ao poucos,

comportamento esse que garante um atendimento sem falhas, ou seja, com garantia de 100%, também para os pedidos 2 e 3, como mostrado nas Figuras 8.41 e 8.42.

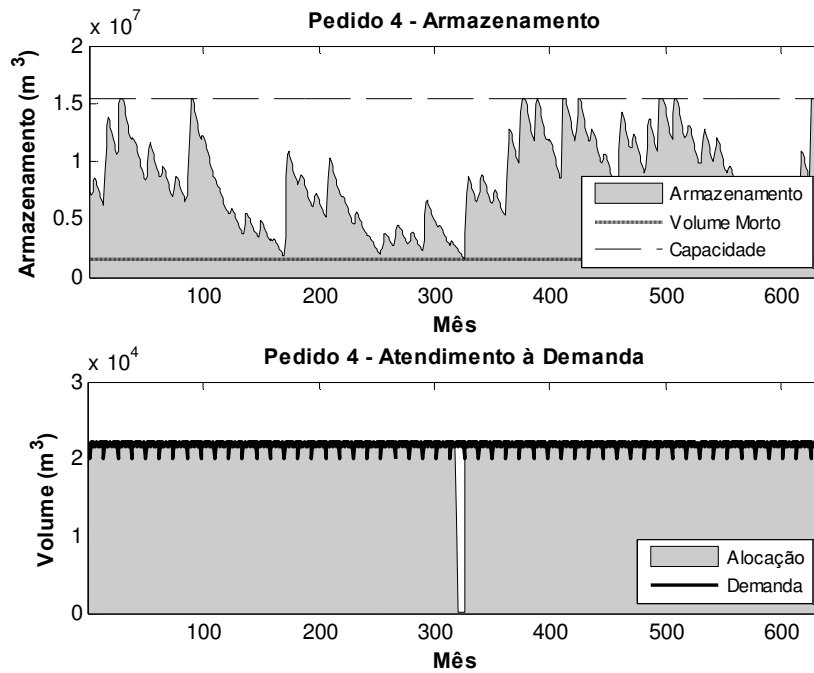


**Figura 8.41** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 2).

A partir do quarto pedido, o reservatório começa a atingir o volume morto (após meses 250 e 300) comprometendo o atendimento. Nota-se, através da Figura 8.43 (atendimento a demanda), que o reservatório, pela primeira vez, apresenta alguns meses de falhas. No entanto, apesar das falhas observadas, o reservatório ainda atende satisfatoriamente a essa demanda, com garantia de aproximadamente 99%.

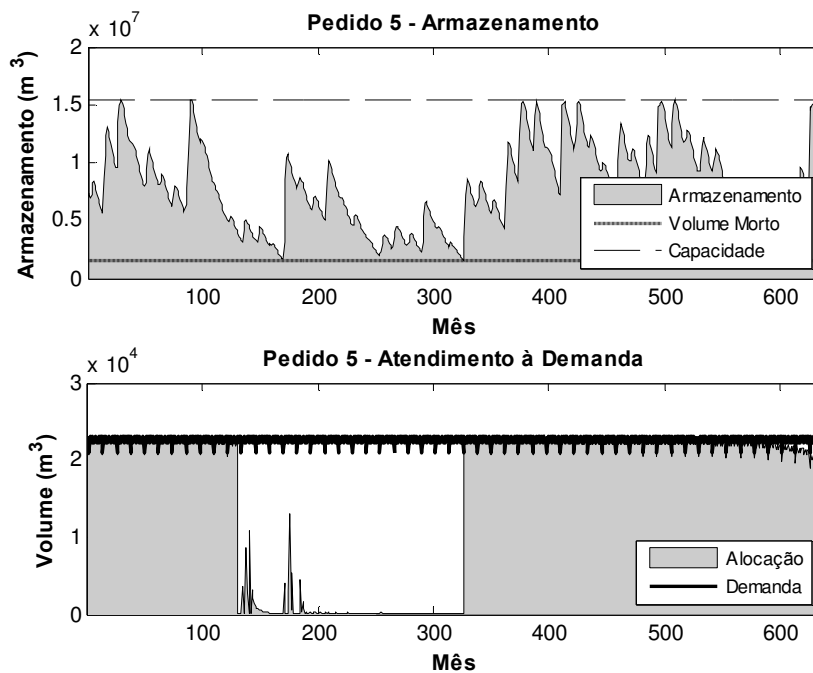


**Figura 8.42** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 3).



**Figura 8.43** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 4).

A partir da quinta demanda (Figura 8.44), começam a ser observadas grandes falhas de atendimento. Para a quinta demanda, a garantia de atendimento fica em torno de 17%, ou seja, já se registra, 83% de falha. Na sexta demanda (Figura 8.45), essas falhas sobem para 93,40%. A sétima demanda possui uma garantia de atendimento de 4,87% e a oitava demanda (Figura 8.46) mostra-se com garantia de atendimento de apenas 1,41%. Daí em diante, todas as demandas, do pedido 9 até o pedido 27, apresentadas nas Figuras 8.47 a 8.66, respectivamente, não são atendidas em nenhum mês do período analisado, ou seja, apresentam 100% de falhas.



**Figura 8.44** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 5).

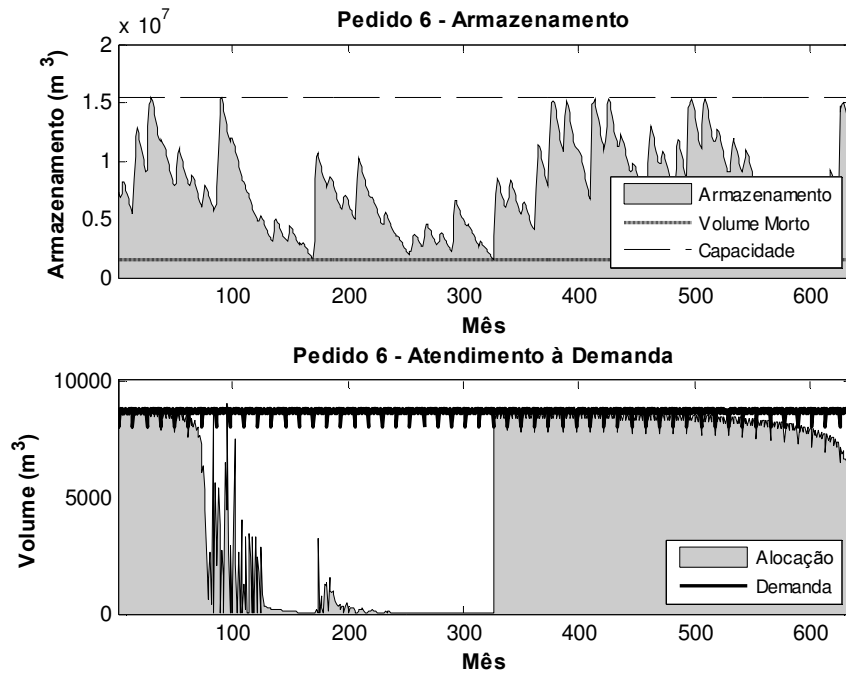


Figura 8.45 – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 6).

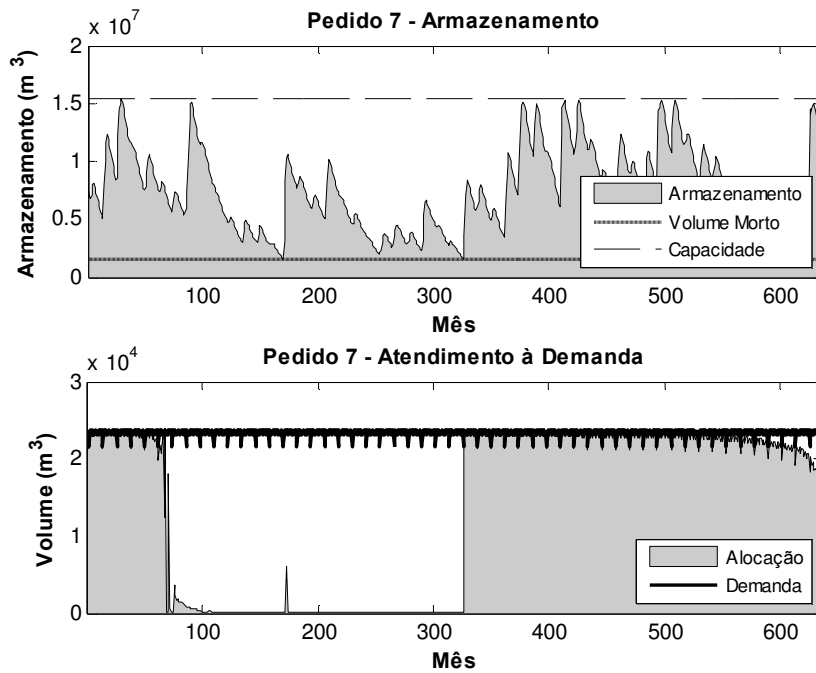
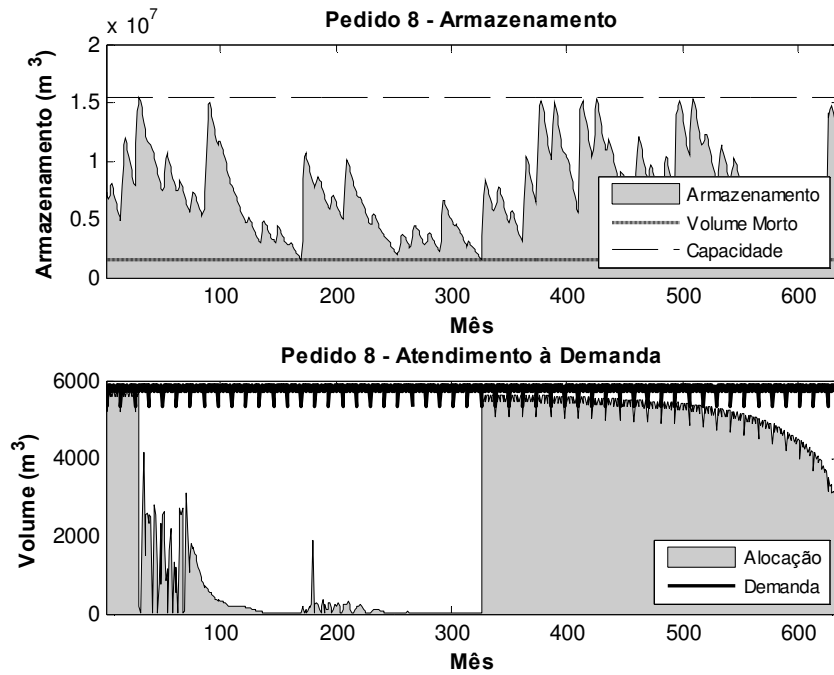
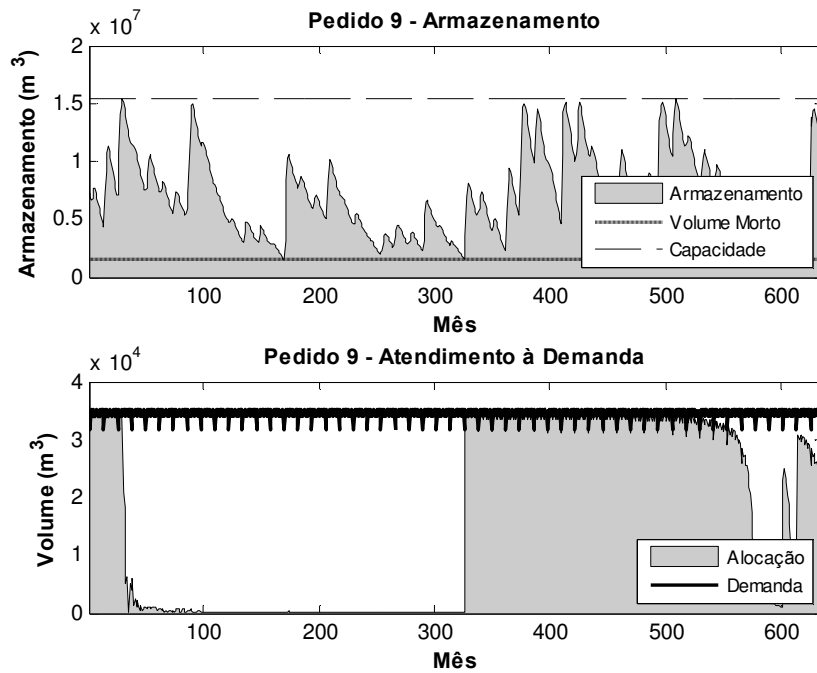


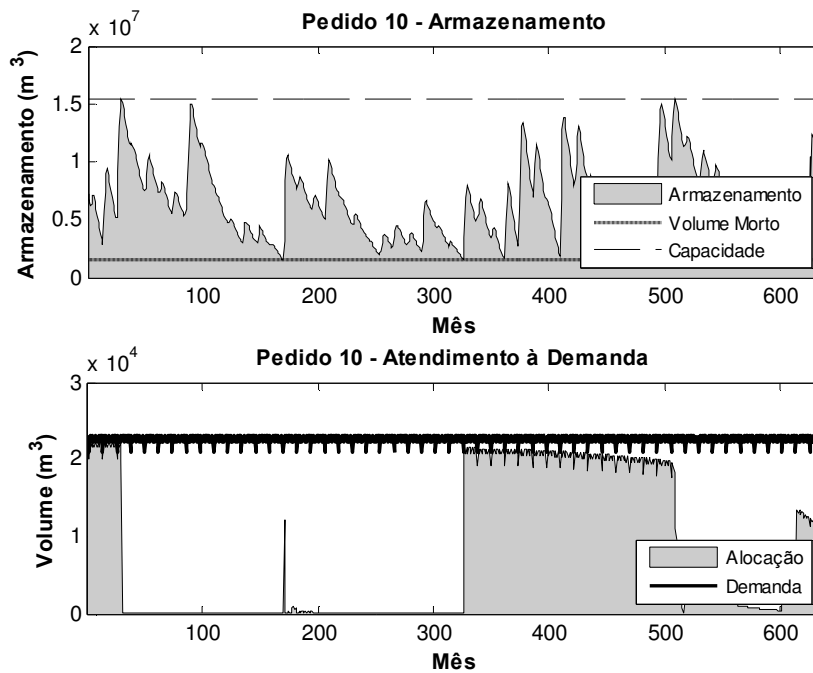
Figura 8.46 – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 7).



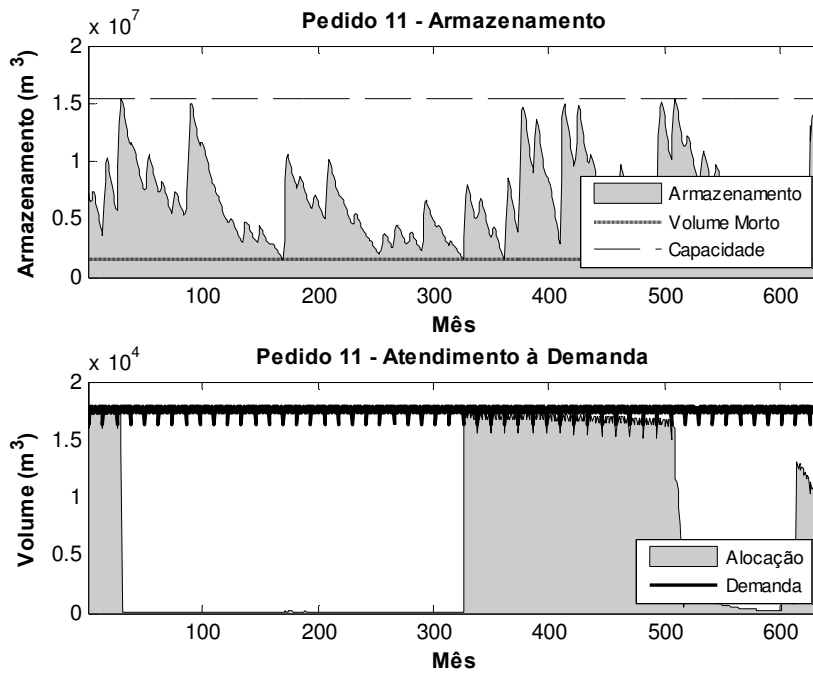
**Figura 8.47** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 8).



**Figura 8.48** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 9).

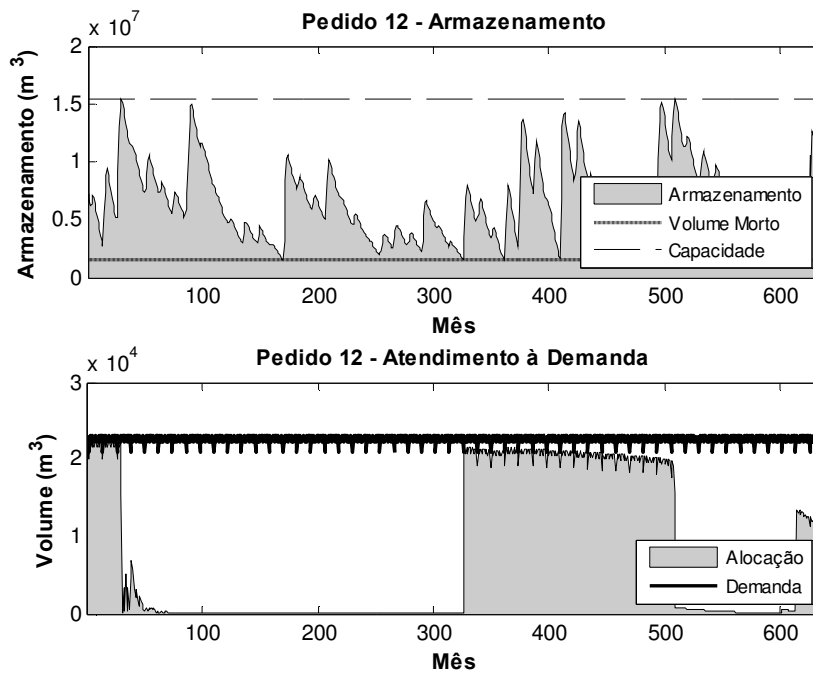


**Figura 8.49** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 10).

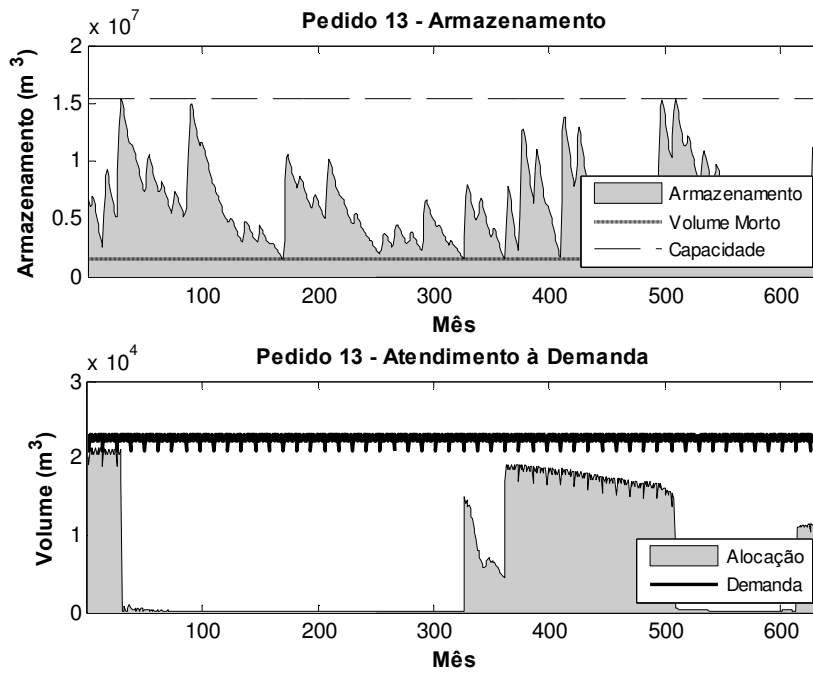


**Figura 8.50** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 11).





**Figura 8.51** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 12).



**Figura 8.52** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 13).

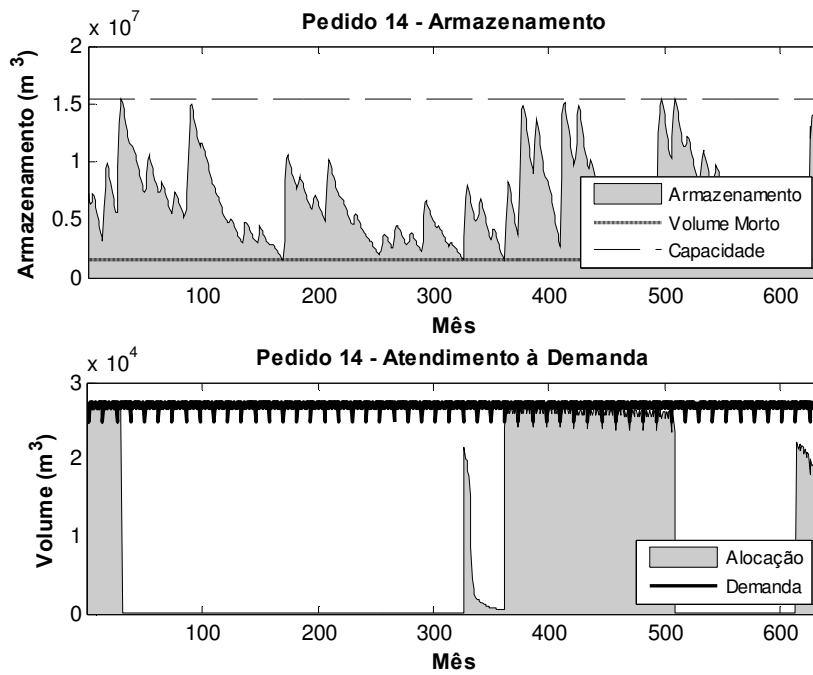


Figura 8.53 – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 14).

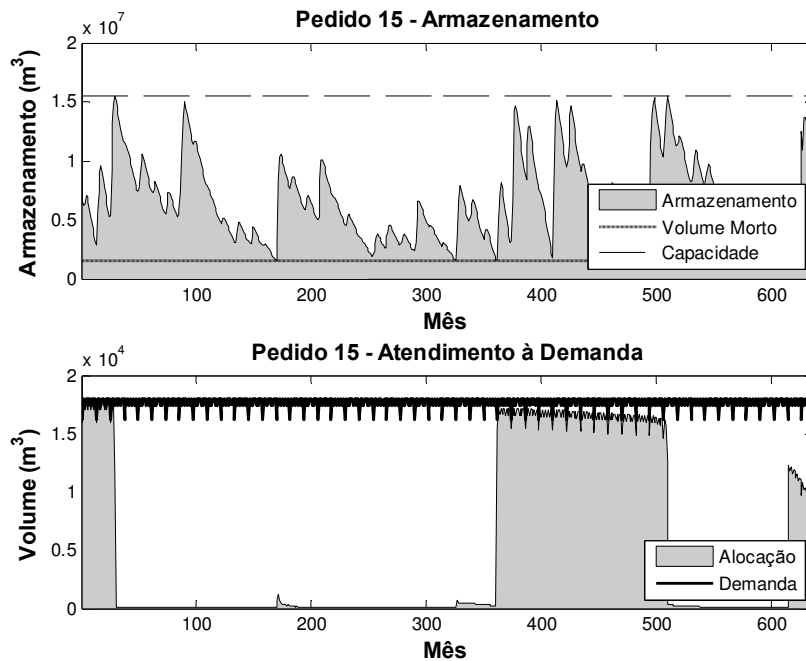
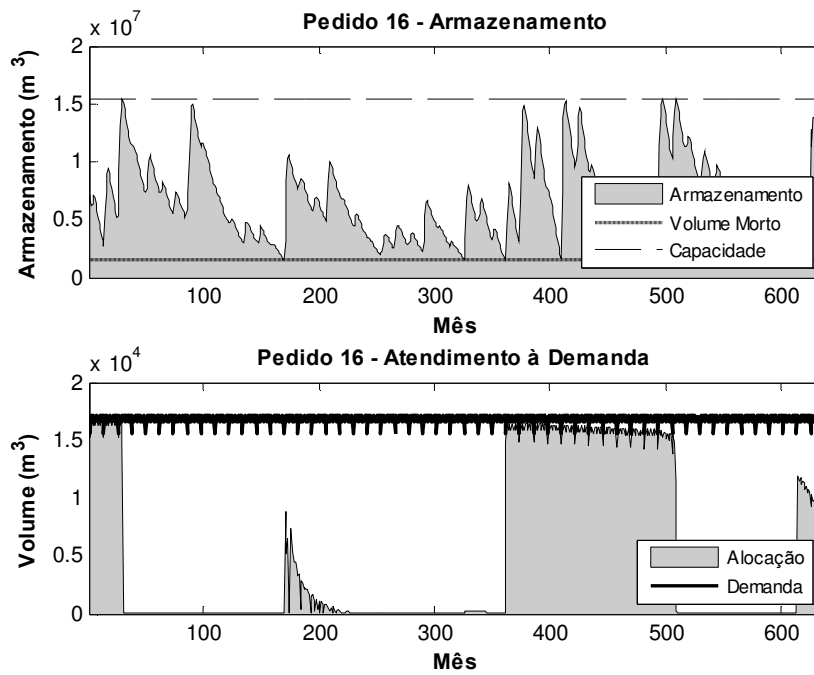
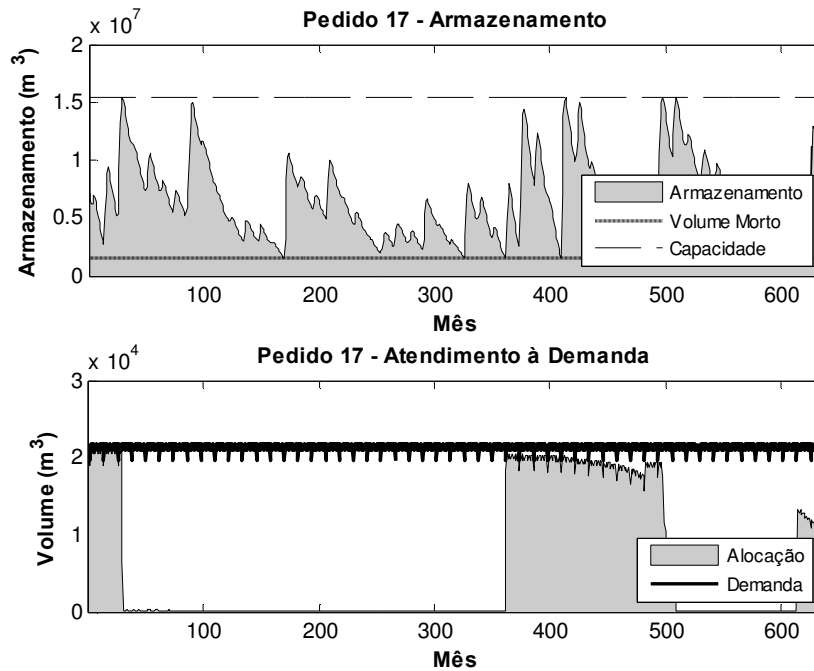


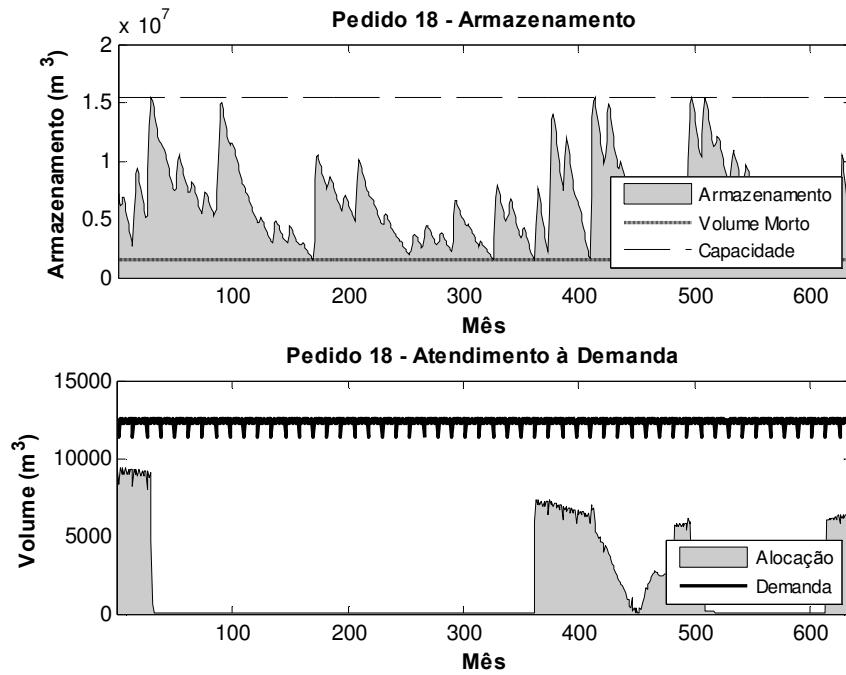
Figura 8.54 – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 15).



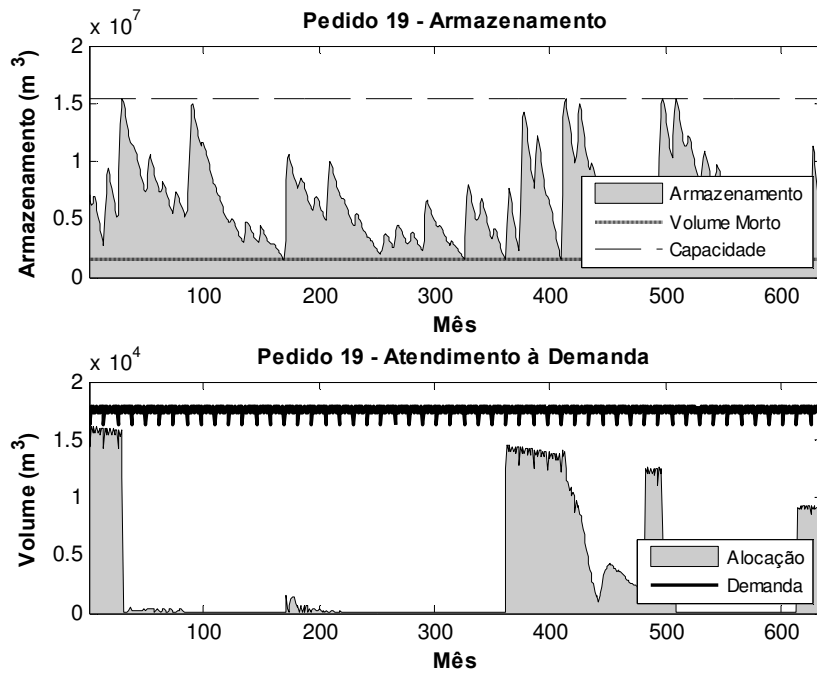
**Figura 8.55** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 16).



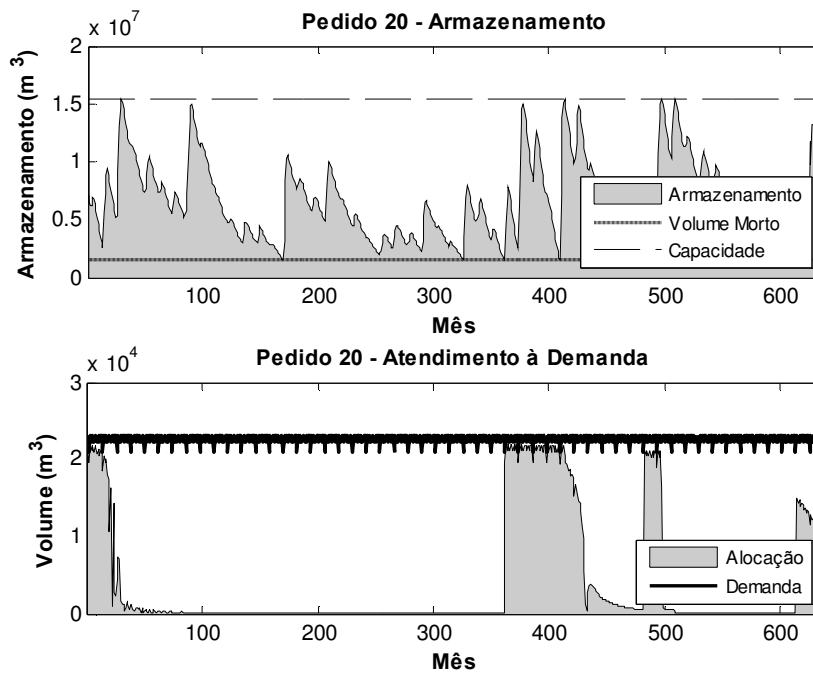
**Figura 8.56** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 17).



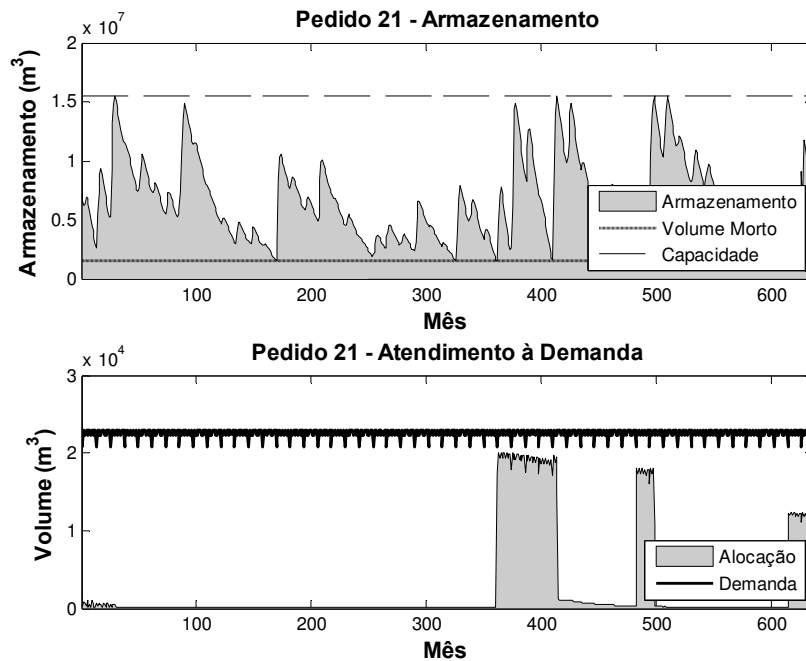
**Figura 8.57** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 18).



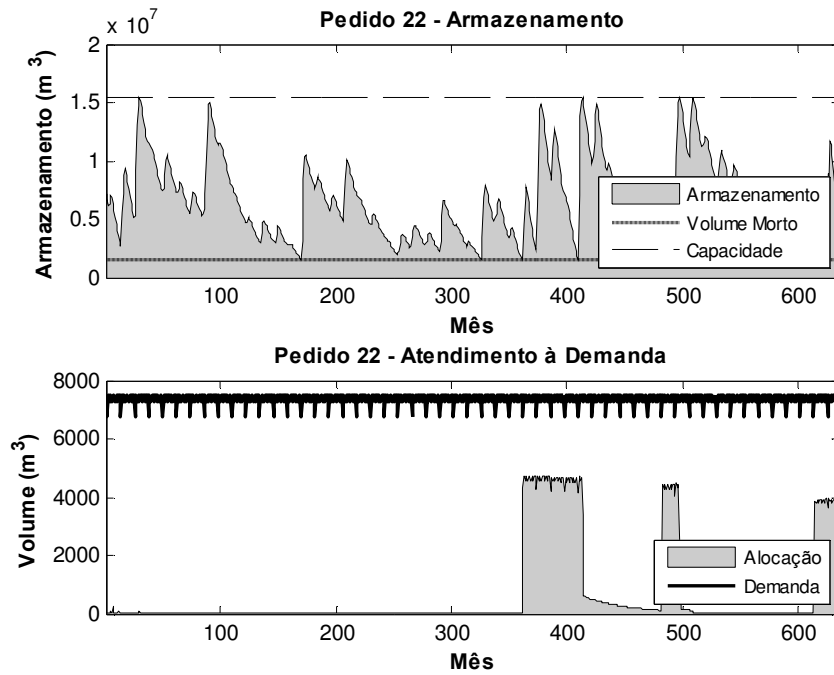
**Figura 8.58** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 19).



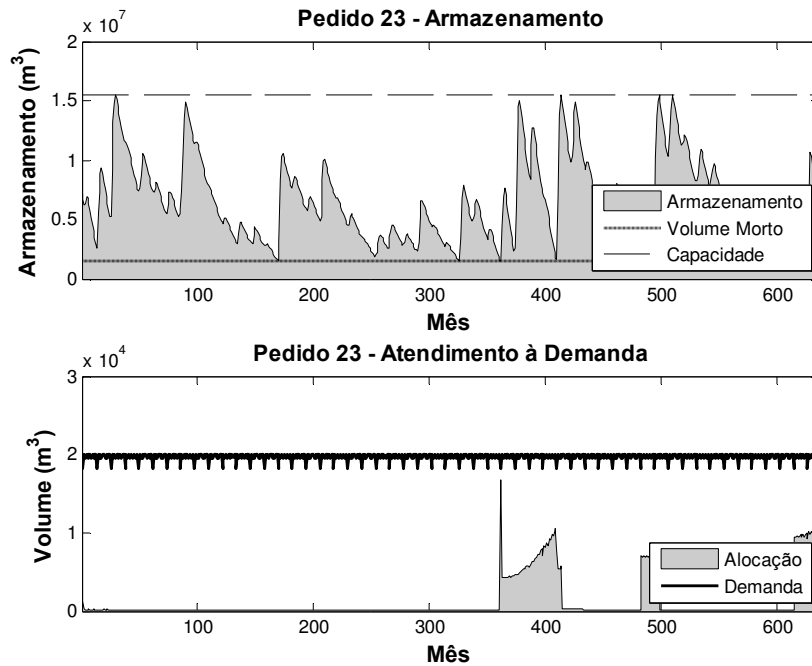
**Figura 8.59** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 20).



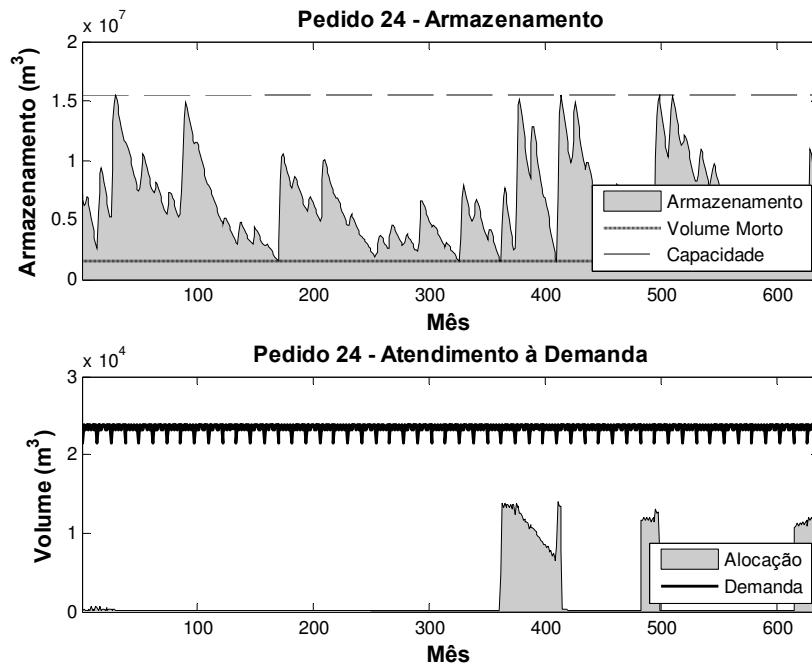
**Figura 8.60** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 21).



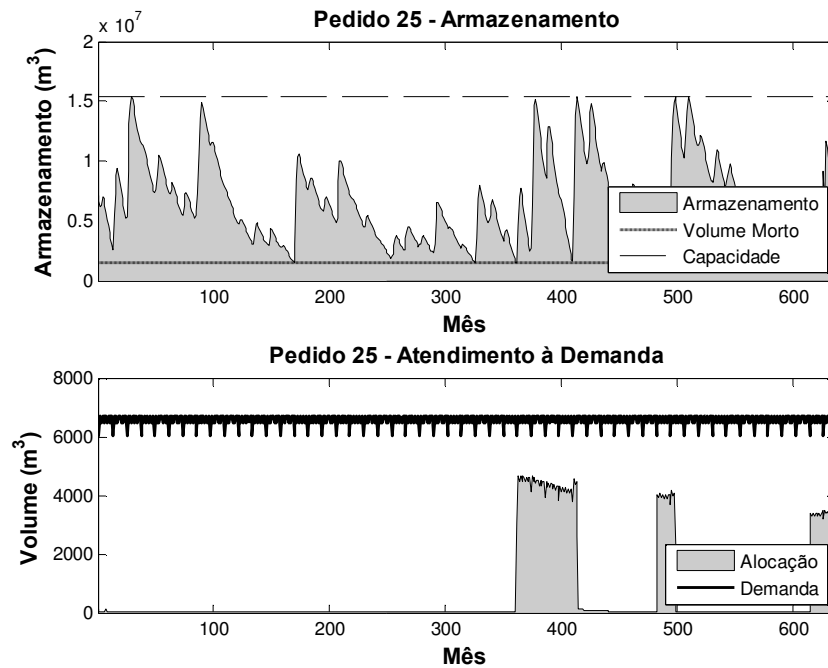
**Figura 8.61** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 22).



**Figura 8.62** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 23).



**Figura 8.63** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 24).



**Figura 8.64** – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 25).

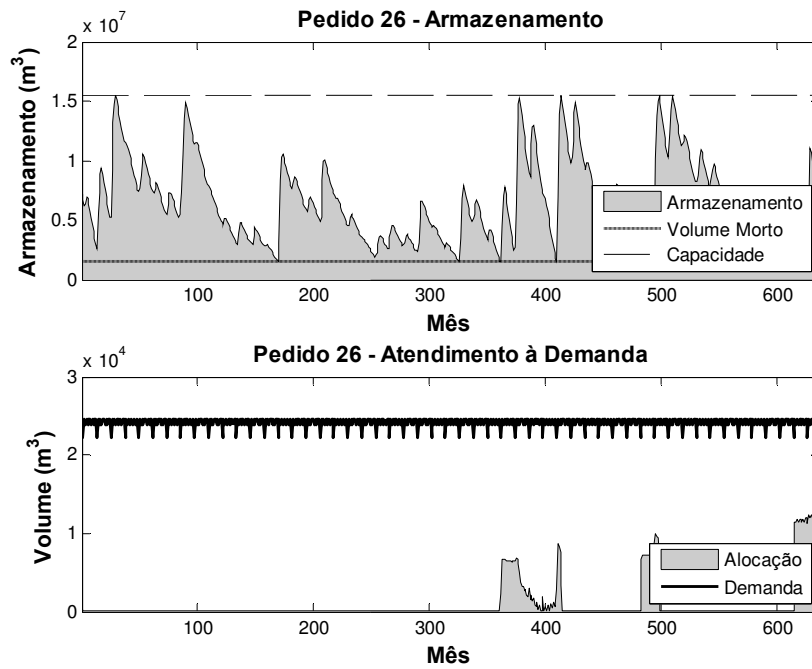


Figura 8.65 – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 26).

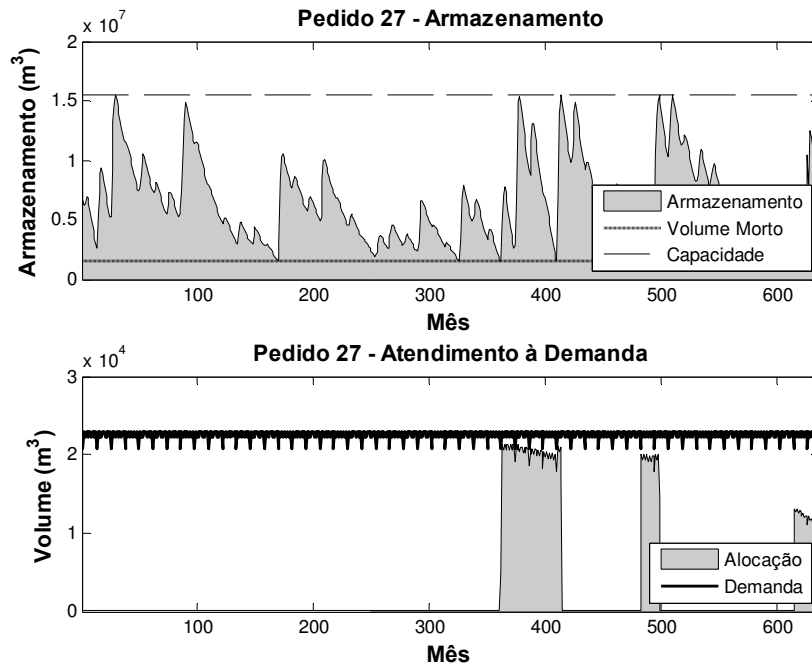


Figura 8.66 – Comportamento do Reservatório Timbaúba ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 27).



As demandas do reservatório Timbaúba aqui consideradas como inviáveis estão, na prática, sendo outorgadas. É importante ressaltar que apenas as demandas referidas a partir do ano de 2005 foram consideradas neste estudo, entretanto, outras demandas mais antigas já vinham sendo atendidas anteriormente. Portanto, de acordo com o modelo, a maioria das outorgas destinadas a esse reservatório podem, em um futuro próximo, deixarem de ser efetuadas. Para evitar que as demandas deixem de ser atendidas, recomenda-se um redimensionamento das vazões concedidas aos usuários cadastrados, estabelecendo uma redução tanto dessas vazões quanto das áreas irrigadas.

Os reservatórios Santa Inês, Tavares e Garra não possuem pedidos de outorga e, portanto, não serão analisados nesta etapa, porém possuem importante papel na análise do sistema integrado.

A análise do sub-cenário de demanda hídrica atual serviu para verificar as situações reais dos reservatórios considerando as demandas já existentes. Pôde-se concluir, após análise detalhada de todos os reservatórios, que várias outorgas estão sendo permitidas sem que haja disponibilidade hídrica para atendê-las com os critérios de garantia requeridos.

Dos 21 reservatórios analisados a montante do sistema, pelo menos 6, que corresponde a 28,6% do total, não se mostraram capazes de atender a todas as outorgas a que estão destinados, com a garantia de pelo menos 90% do tempo, de acordo com o exigido no Decreto Estadual Nº 19.260, que regulamenta a outorga de uso da água na Paraíba.

Os Cenários de Demandas Hídricas com Reservatórios em Série e em Paralelo (CDHRS e CDHRP) são duas alternativas propostas neste estudo para amenizar esse quadro. Os objetivos referentes a esses cenários e os resultados obtidos serão detalhados mais a diante.

#### **8.1.1.2 RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA E JUSANTE**

Para auxiliar o estudo das perdas por evaporação, realizou-se a linearização da curva área-volume. O ajuste da curva área-volume do sistema Coremas-Mãe D'Água encontra-se no Apêndice A (Figura A2). Algumas demandas a montante e jusante do sistema serão consideradas como demandas dos reservatórios. Logo, estudou-se primeiramente, o comportamento do sistema apenas com as demandas de montante e, em seguida, acrescentando as demandas diretamente ligadas a ele e as demandas de jusante.

### 8.1.1.2.1 DEMANDAS DE MONTANTE

Como os perímetros irrigados Piancó II e III e Piancó-Brotas a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água não estão ligados diretamente a reservatório algum (recebem água diretamente do rio Piancó), e como o modelo proposto neste estudo trabalha apenas com reservatórios, considerou-se que esses perímetros, hipoteticamente, estariam associados aos reservatórios de jusante mais próximos (captando água na bacia de contribuição) que seria, para todos os perímetros, o sistema Coremas-Mãe D'Água. Foram, então, realizadas otimizações, considerando, em primeiro lugar, o sistema somente com as demandas de montante, pois, assim, ter-se-ia o armazenamento real do sistema Coremas-Mãe D'Água, já descontadas as demandas de montante, quando consideradas as demandas diretamente ligadas aos reservatórios e as demandas de jusante.

A Tabela 8.4 apresenta os dados de outorga, demandas médias e a garantia média de atendimento dos perímetros irrigados a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água. Adotou-se as demandas perenes como prioritárias às demandas sazonais.

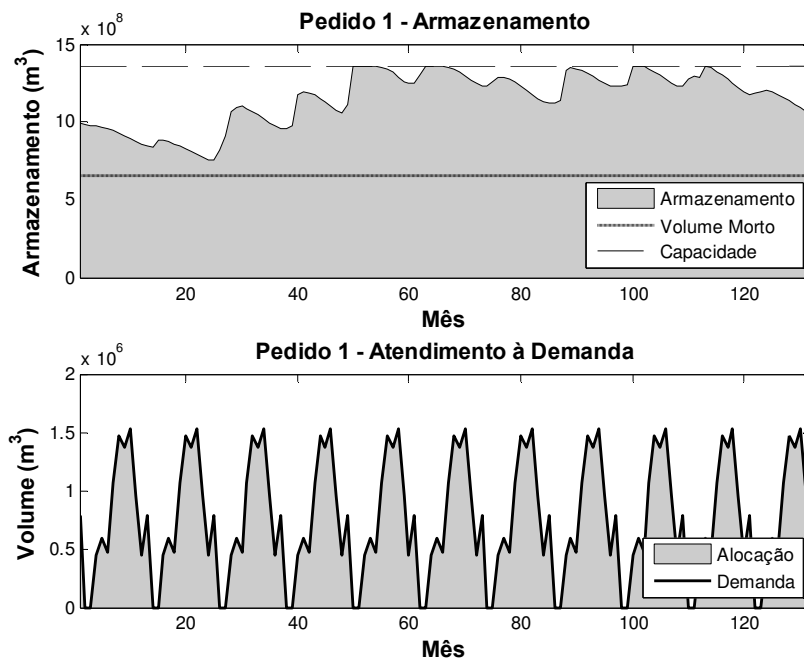
**Tabela 8.4** – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento no sistema Coremas-Mãe D'Água

Reservatório	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	1	Irrigação Piancó III (Perene)	0,2875	100
	2	Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Perene)	0,1438	100
	3	Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Sazonal)	0,0564	100
	4	Irrigação Piancó II (Sazonal)	0,2997	100
	5	Irrigação Piancó III (Sazonal)	0,1127	100

Segundo mostra a tabela, todas as demandas dos perímetros irrigados a montante do reservatório Coremas-Mãe D'Água são atendidas com garantia de 100%, ou seja, sem apresentarem falhas ao longo do período estudado.

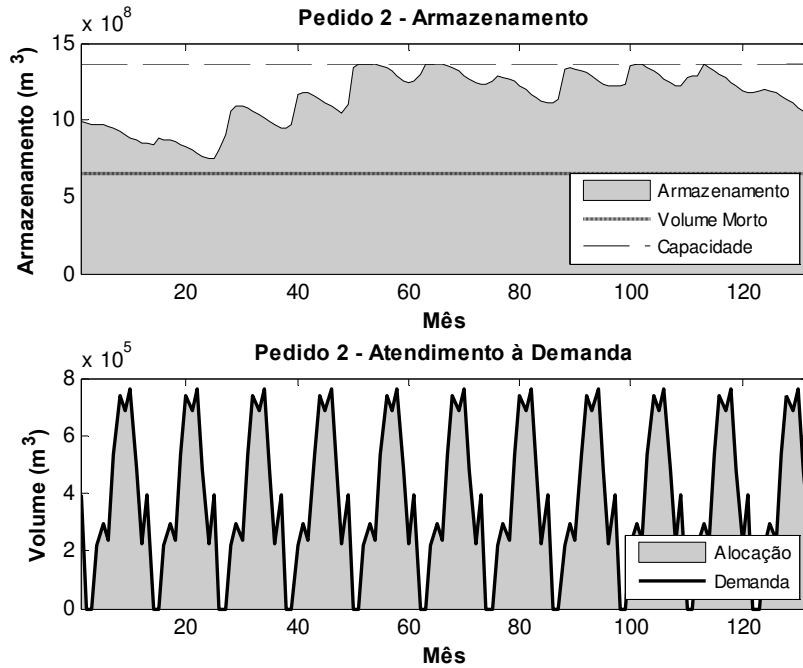
As Figuras 8.67 a 8.71 trazem o comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para cada demanda. Em todas as figuras, o volume utilizado para estudo das demandas é o volume acima da linha pontilhada, considerada como de volume morto, pois, como já dito anteriormente, está se analisando apenas a capacidade do sistema quando formando um único lago (acima da cota de ligação).

A Figura 8.67 apresenta o atendimento da demanda de irrigação de culturas perenes no perímetro Piancó III, ao longo do período estudado. Observa-se, pela figura, que o armazenamento no sistema Coremas-Mãe D'Água, acima da cota de ligação, inicia-se com aproximadamente  $10 \times 10^8 \text{ m}^3$  e decresce ficando próximo ao mínimo por volta do mês 20, a partir do qual, vai aumentando, tornando-se possível um atendimento com garantia de 100% à demanda de irrigação que possui natureza oscilante, porém encontra-se totalmente preenchida (sem apresentar áreas em branco) como apresentado no gráfico da Figura 8.67.

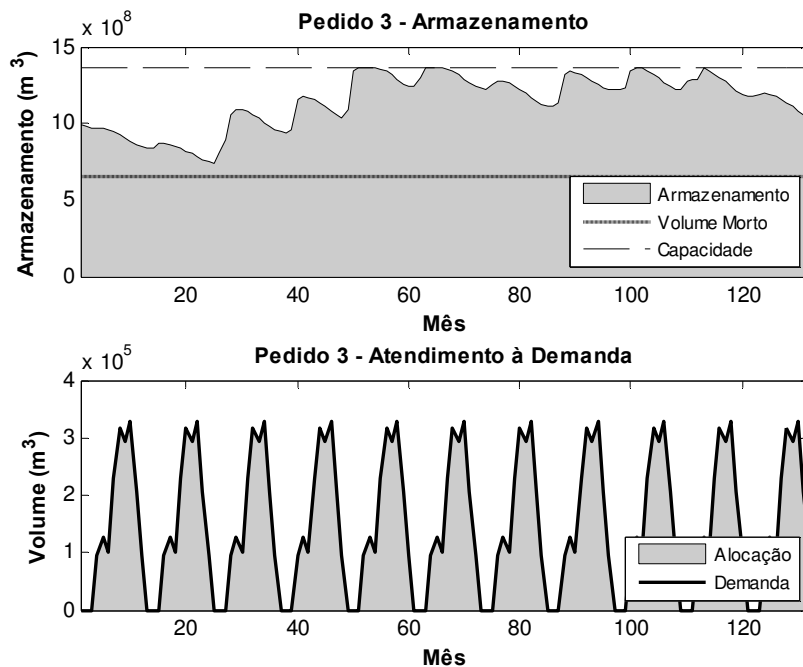


**Figura 8.67** – Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado Piancó III.

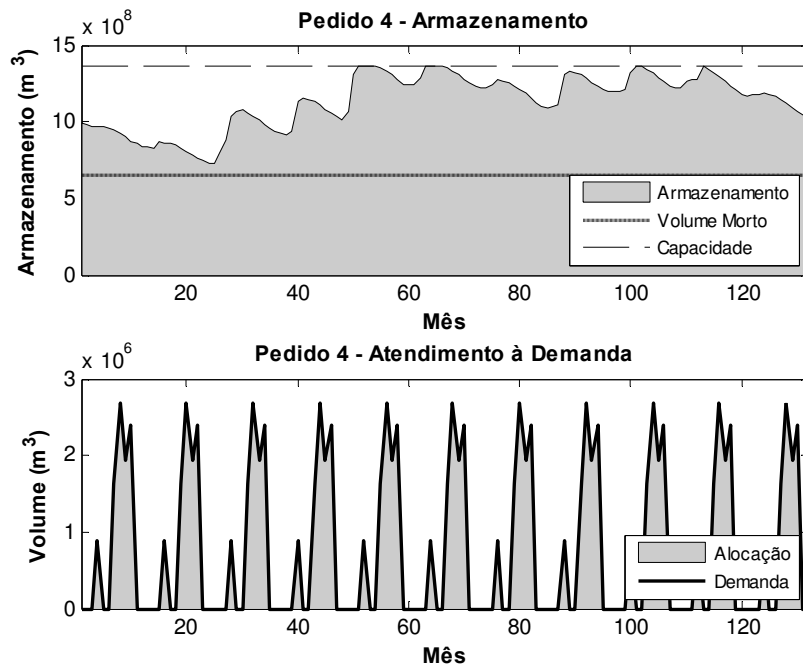
Comportamento semelhante a Figura 6.67 é observação para os pedidos 2, 3, 4 e 5 representados respectivamente pelas Figuras (8.68, 8.69, 8.70 e 8.71). Comparando o volume armazenado no sistema após o atendimento da primeira demanda (Figura 8.67), com os volumes armazenados após as retiradas para atendimento às demandas do perímetro Piancó-Brotas, para culturas perenes e sazonais (Figuras 8.68 e 8.69), e dos perímetros Piancó II e III, para culturas sazonais (Figuras 8.70 e 8.71), nota-se que a sua variabilidade é pequena, assegurando um atendimento também de 100% a todas essas demandas.



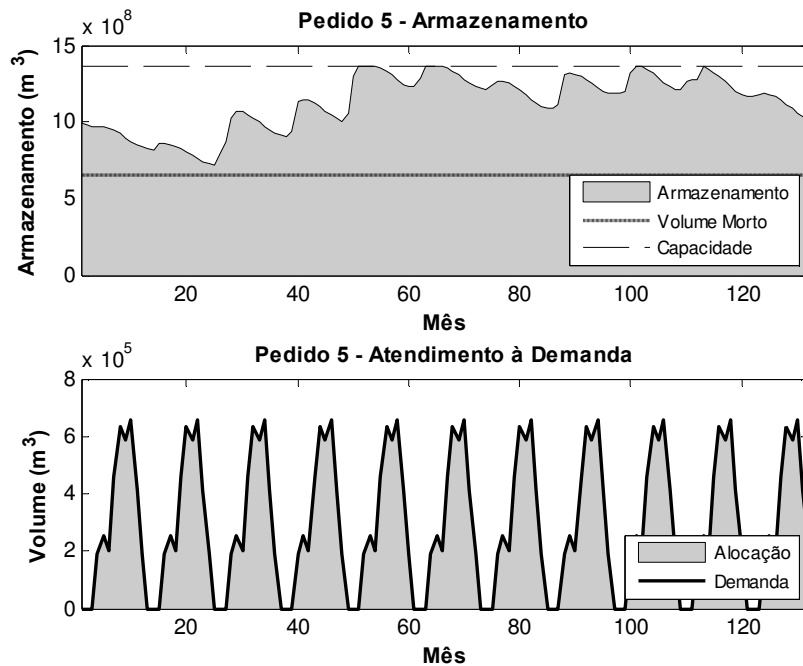
**Figura 8.68** – Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado Piacó-Brotas.



**Figura 8.69** – Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado Piacó-Brotas.



**Figura 8.70** – Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado Piancó II.



**Figura 8.71** – Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro irrigado Piancó III.

Portanto, apesar das demandas de irrigação dos perímetros Piancó II, III e Piancó-Brotas não estarem saindo diretamente do sistema Coremas-Mãe D'Água, pode-se observar que o volume de água utilizado para irrigação desses perímetros e que, conseqüentemente, deixa de entrar nos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, aparentemente não acarretam grandes modificações no armazenamento desses reservatórios.

#### **8.1.1.2.2 DEMANDA DIRETAMENTE LIGADAS AO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA E DE JUSANTE**

Os pedidos de outorga para as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água são: abastecimento urbano, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros (incluída a demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s referente à irrigação das Várzeas de Sousa) e piscicultura.

A jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água, área que se prolonga até a fronteira entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, também existem concessões de outorgas que visam atender às demandas de abastecimento urbano, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros, indústria e piscicultura.

Pelo menos três diferentes análises podem ser realizadas com relação às demandas diretamente ligadas ao sistema e às demandas de jusante:

- i. as demandas de abastecimento têm prioridade de atendimento e para os demais pedidos dá-se preferência primeiramente às demandas diretamente ligadas ao sistema; depois, às demandas de jusante;
- ii. as demandas iguais têm prioridade de atendimento iguais, no entanto, ainda é estabelecida uma preferência maior das demandas diretamente ligadas ao sistema sobre as demandas de jusante.
- iii. as demandas iguais têm prioridades iguais de atendimento, tanto estando diretamente ligadas ao sistema, quanto a jusante dele.

#### **i Análise considerando demandas com diferentes prioridades de atendimento**

Nessa análise, tanto as outorgas do sistema quanto as de jusante respeitaram a ordem de prioridade estabelecida na Resolução N° 687 da ANA, de onde foram obtidas. Logo, são consideradas no modelo, primeiramente as demandas de montante, seguidas das demandas de

jusante, exceção feita apenas aos usos prioritários (abastecimento propriamente dito e adutoras também destinadas a abastecimento) que, por lei, devem ter atendimento privilegiado, mesmo estando a jusante.

A Tabela 8.5 apresenta os dados de outorga (incluindo a finalidade de uso e a ordem de prioridade de atendimento usada no modelo), as demandas (utilizadas neste estudo como constantes para todos os meses do ano) e as garantias médias de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água. Os resultados mostrados na tabela indicam que, dos onze pedidos de outorga, apenas as demandas destinadas a abastecimento (pedidos 1 e 2) foram atendidas com garantia superior a 90%, estando incluída, no pedido 2 (abastecimento a jusante), a vazão de 1,5 m<sup>3</sup>/s destinada ao Estado do Rio Grande do Norte. Esta demanda só foi atendida com garantia satisfatória porque teve preferência sobre as demandas para adutora, irrigação e piscicultura ligadas diretamente ao sistema Coremas-Mãe D'Água.

Os pedidos 3 e 4, referentes à adutora diretamente ligada ao sistema e a jusante, respectivamente, são atendidos com garantia de 81,06%, ou seja, inferior a 90%. Essas demandas são consideradas como prioritárias, pois a adução tem o objetivo de abastecer comunidades rurais e urbanas. Logo, o sistema Coremas-Mãe D'Água não consegue atender todas as demandas prioritárias, com nível de garantia adequado, ou seja, o reservatório apresenta pouca disponibilidade hídrica para atendimento as demandas.

A demanda para irrigação difusa (pedido 5) também é garantida em apenas 81,06% do tempo. Neste caso, pelo menos 0,018 m<sup>3</sup>/s da vazão deixa de ser disponibilizado para atendimento aos irrigantes.

**Tabela 8.5** – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água

Reservatório	Localização da demanda	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
		Ordem de Prioridade	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	Diretamente ligadas ao sistema	1	Abastecimento	0,010	100
		3	Adutoras	0,099	81,06
		5	Irrigação difusa	0,096	81,06
		6	Irrigação em Perímetros	5,875	34,85
		7	Piscicultura	0,013	12,88
	A jusante	2	Abastecimento	1,548	95,45
		4	Adutoras	0,971	81,06
		8	Irrigação difusa	2,739	12,88
		9	Irrigação em Perímetros	1,000	12,88
		10	Indústria	0,004	12,88
		11	Piscicultura	0,045	12,88

O pedido 6 (irrigação de perímetros) não foi atendido com um nível de garantia satisfatório. Como neste pedido estão incluídos os 4,0 m<sup>3</sup>/s referentes à irrigação das Várzeas de Sousa, a demanda torna-se muito alta, dificultando seu atendimento contínuo e propiciando várias falhas. Uma vez que o atendimento à demanda é garantido em apenas 34,85% do tempo, a vazão média alocada pelo sistema é apenas 2,05 m<sup>3</sup>/s. A partir dessa análise, caso fossem descartados os 1,875 m<sup>3</sup>/s referentes à irrigação dos perímetros, haveria uma sobra de 0,175 m<sup>3</sup>/s para o atendimento a demanda das Várzeas de Sousa, ou seja, apenas 4,37% da demanda.

Para os demais pedidos (7 a 11), a garantia de atendimento foi inferior a 15%. Estes resultados estão bem abaixo do esperado, mostrando que os reservatórios Coremas e Mãe D'Água deixam de atender a maioria das demandas a que estão destinados, se considerada a capacidade do sistema apenas acima da cota de ligação, correspondente a um volume de 702,20 hm<sup>3</sup>. Maiores detalhes sobre cada outorga e o comportamento do volume de água armazenado no sistema Coremas-Mãe D'Água, à medida que as demandas vão sendo retiradas, são apresentados nas Figuras 8.72 a 8.88.

Como pode ser observado na Figura 8.72, para o pedido 1 (abastecimento), o sistema apresenta regular armazenamento de água, garantindo a demanda sem registrar falha alguma de atendimento ao longo do período estudado. Do pedido 1 para o pedido 2, referente ao abastecimento de jusante (Figura 8.73), já podem ser observadas algumas mudanças no volume armazenado de água, inclusive com a chegada do reservatório ao volume mínimo em um determinado período (após o mês 20), propiciando falhas de atendimento. No entanto, a garantia ainda é de 95,45%.



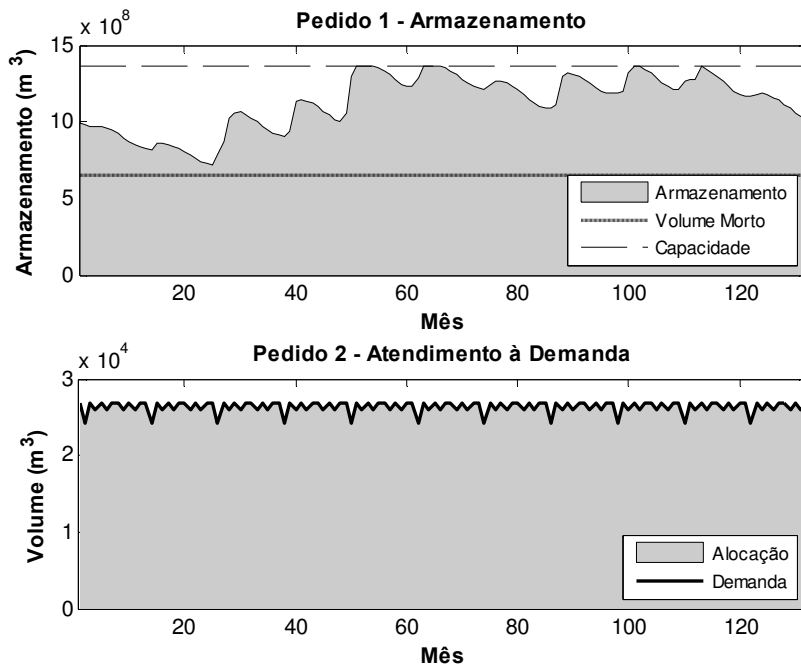


Figura 8.72 – Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento diretamente ligada ao sistema.

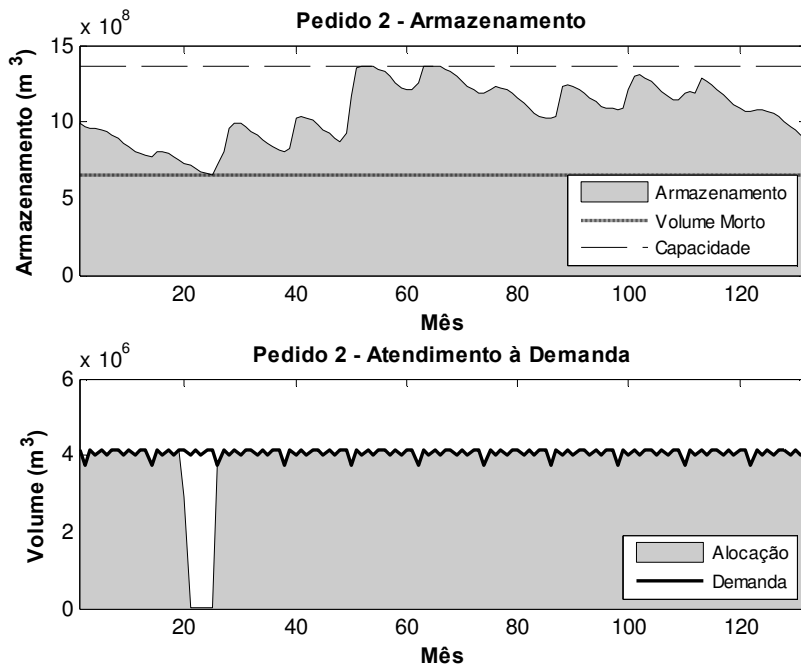
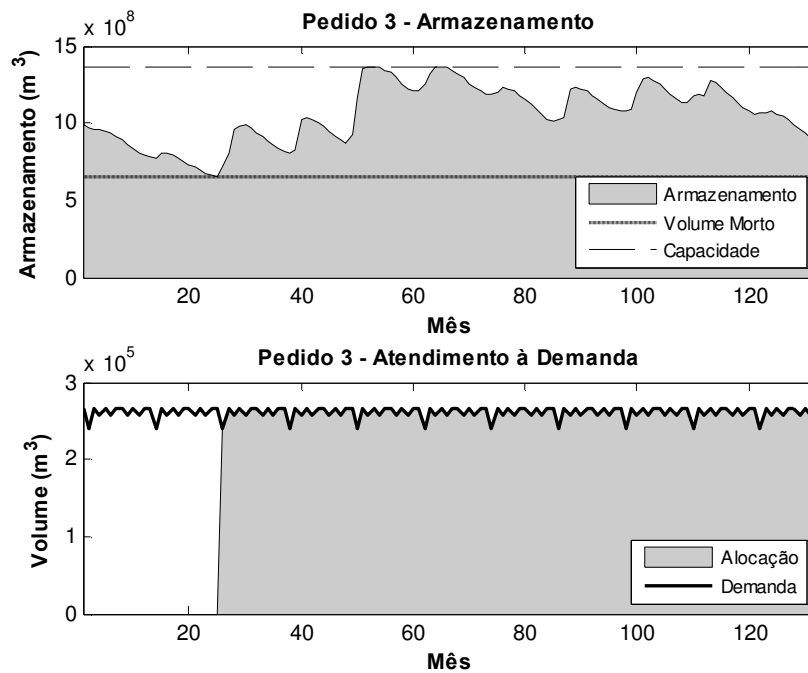


Figura 8.73 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de abastecimento de jusante.



**Figura 8.74** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda da adutora diretamente ligada ao sistema.

Poucas mudanças de volume são observadas do pedido 2 para os pedidos 3 (adutora), 4 (adutora de jusante) e 5 (irrigação difusa), apresentados nas Figuras 8.74, 8.75 e 8.76, respectivamente. Observa-se que, devido ao rebaixamento do nível de água, ocorrem falhas nos primeiros meses do período analisado (entre os meses 1 e 25) reduzindo a garantia de atendimento às demandas para 81,06%. Nota-se que o período de falhas ocorre apesar da existência de água no reservatório (gráfico de armazenamento) porque o modelo reserva tal volume para atendimento as demandas anteriores (pedidos 1 e 2).

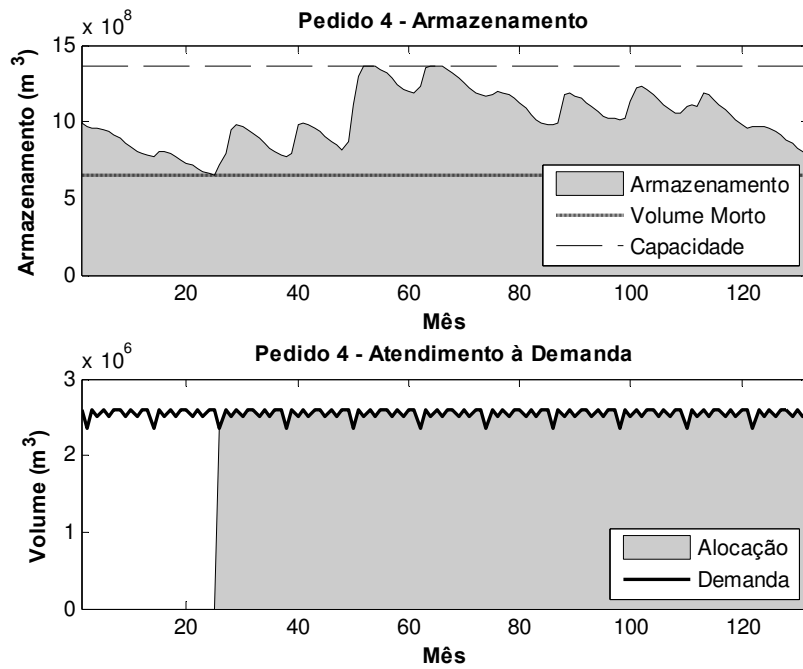


Figura 8.75 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo para atendimento à demanda da adutora de jusante.

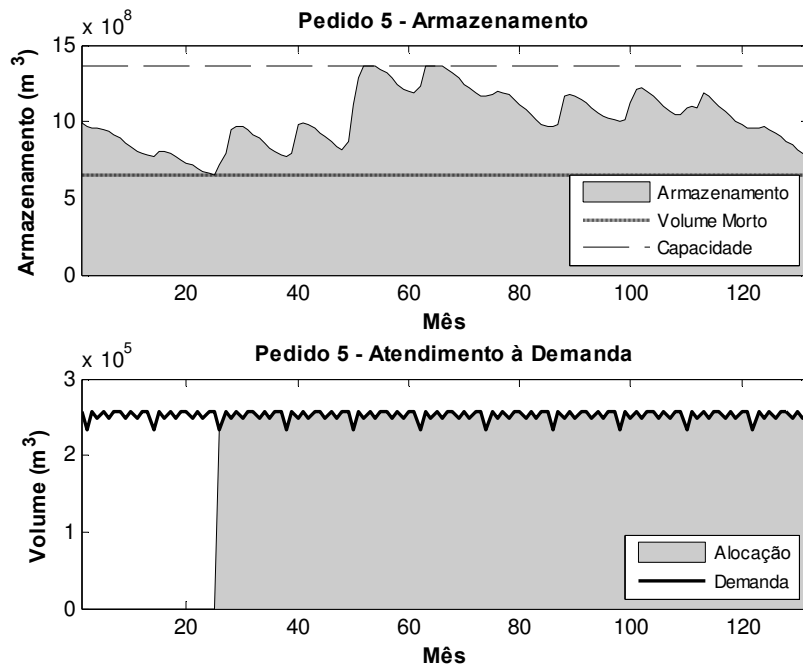
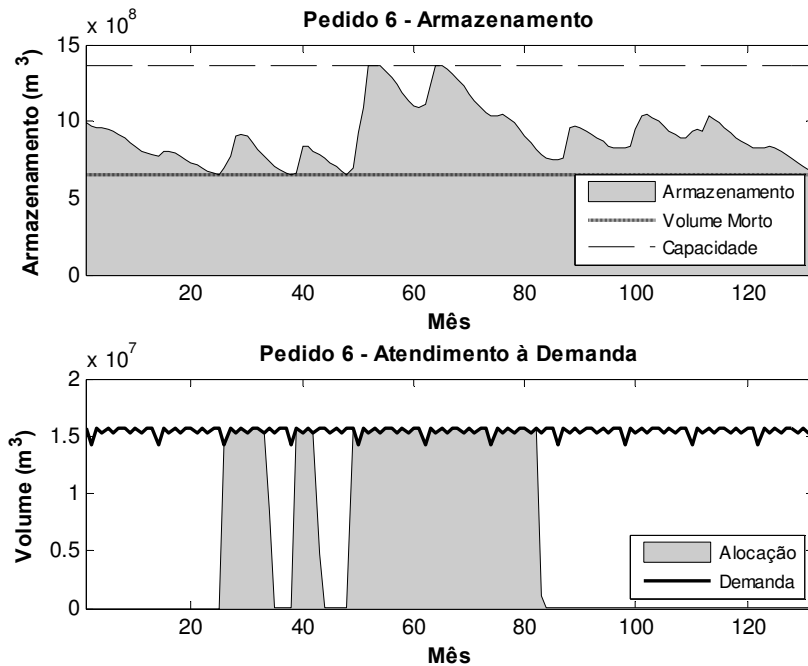


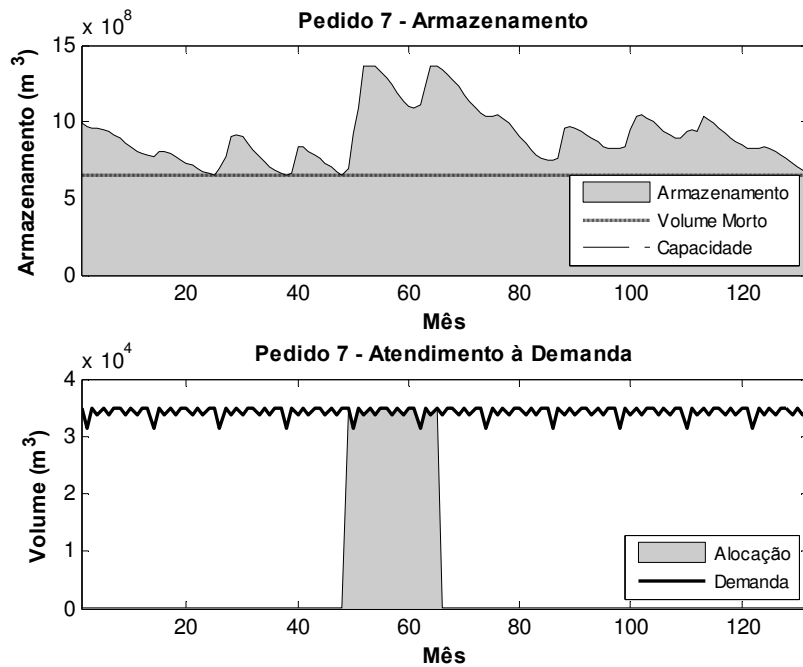
Figura 8.76 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa diretamente ligada ao sistema.

A partir do pedido 6, referente à irrigação de perímetros (Figura 8.77), o volume de água armazenado sofre um considerável decréscimo, chegando ao volume mínimo em várias meses do período. Este comportamento é compreensível porque, além de essa demanda ser alta, o sistema já vinha apresentando pequenas quedas de armazenamento, devido às retiradas anteriores. Neste caso, portanto, o sistema garante atendimento em menos da metade dos meses (34,85%), bem abaixo da garantia considerada suficiente.



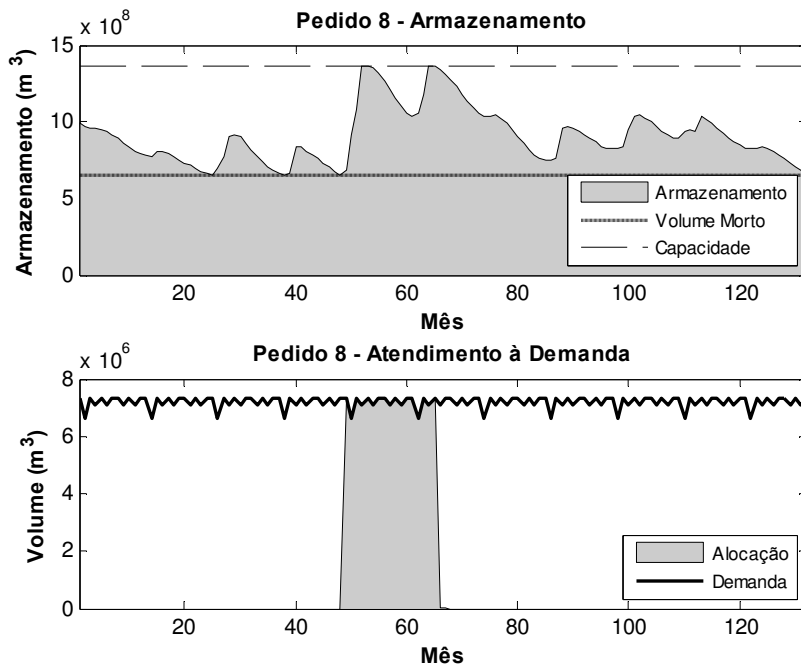
**Figura 8.77** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros.

O sétimo pedido a ser analisado é a piscicultura. Como é bem menor que o pedido anterior, percebe-se pouca variação no volume do sistema em relação ao pedido 6. Porém, como já havia água insuficiente no reservatório após a retirada do sexto pedido, o atendimento à demanda de piscicultura apresenta falhas ainda mais constantes, gerando uma garantia de apenas 12,88 % (Figura 8.78).

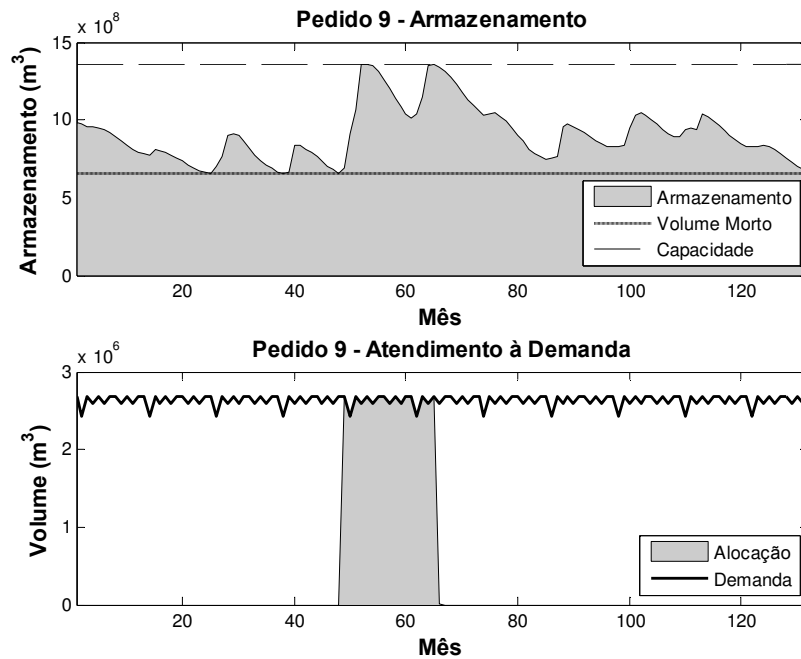


**Figura 8.78** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura.

Para as demais demandas de jusante: irrigação difusa, perímetros irrigados, indústria e piscicultura (Figuras 8.79, 8.80, 8.81 e 8.82, respectivamente), percebe-se que a variação do volume dos reservatórios é pequena em relação ao pedido 7, pois o sistema precisa garantir atendimento às demandas anteriores, impedindo a retirada de água para atender a novos pedidos em grande parte do tempo, quando o volume do sistema está bem reduzido. Portanto, igualmente ao observado para a demanda referente à piscicultura (pedido 7), as falhas de atendimento dos pedidos 8, 9, 10 e 11 são de aproximadamente 87%.



**Figura 8.79** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa de jusante.



**Figura 8.80** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros a jusante.

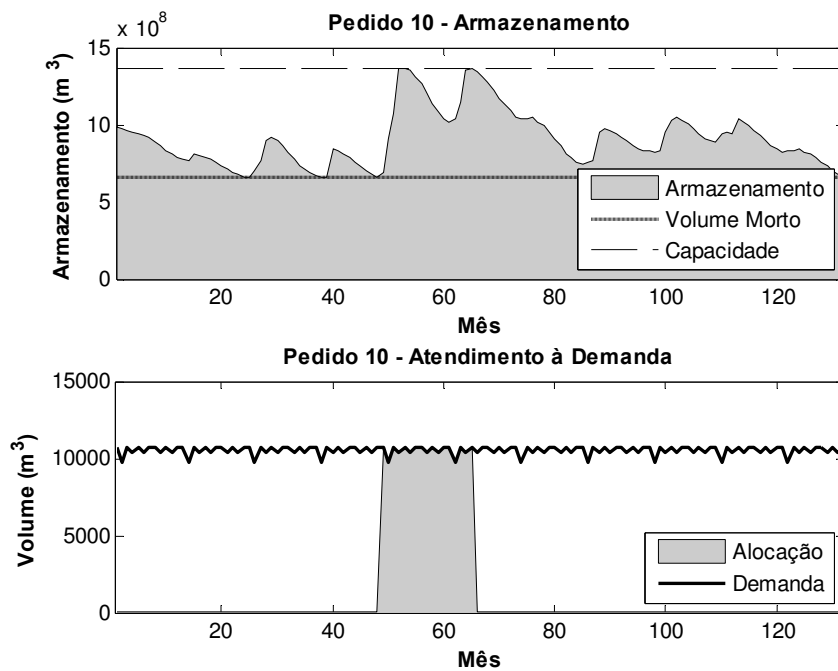


Figura 8.81 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de indústria a jusante.

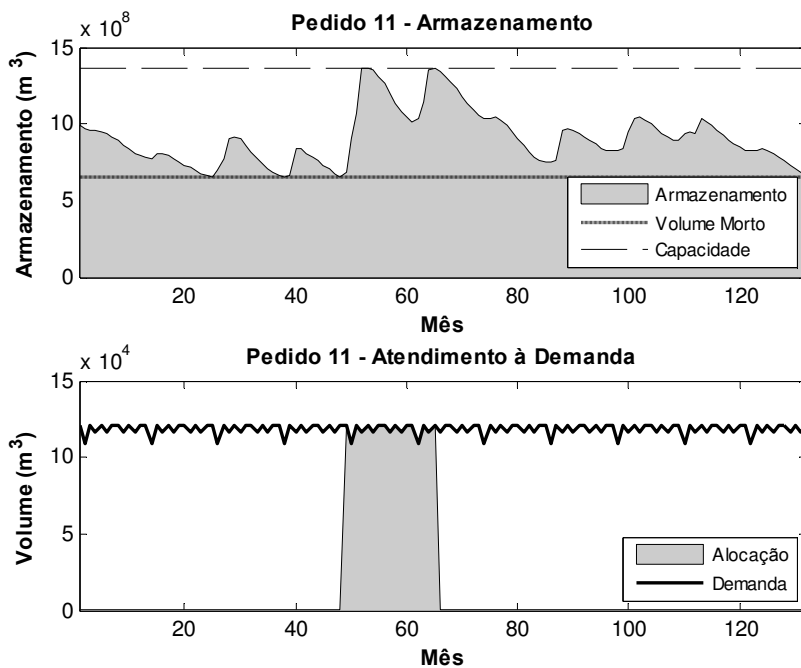


Figura 8.82 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura a jusante.

A análise leva à constatação de que, apesar de o sistema Coremas-Mãe D'Água ser a maior reserva hídrica do estado, e possuir uma excelente capacidade de armazenamento, as outorgas já concedidas devem ser reavaliadas e estudos mais rigorosos devem ser realizados, antes de se concederem novas outorgas para retiradas de água. Além disso, grandes pedidos de outorga comprometem o sistema, impedindo que outros menores sejam atendidos.

No entanto, deve-se levar em consideração que, para esse estudo, foi analisado o sistema como um único reservatório, desconsiderando todo o volume de água armazenado abaixo da cota de ligação que corresponde a um percentual de 49% de sua capacidade, somando os volumes dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, separadamente. Este fato torna-se relevante, visto que algumas demandas são específicas para apenas um dos reservatórios, incluindo, neste grupo, a vazão de 4,0 m<sup>3</sup>/s que sai do reservatório Mãe D'Água e segue pelo Canal da Redenção, para irrigação das Várzeas de Sousa.

## **ii. Análise considerando equidade de atendimento e as demandas diretamente ligadas ao sistema mais prioritárias que as de jusante**

Para este estudo, o princípio da equidade, em que demandas iguais têm prioridades de atendimento iguais, foi parcialmente utilizado, uma vez que se deu preferência ao atendimento das demandas ligadas ao sistema. Por exemplo: foi considerado no modelo que a demanda de irrigação difusa, diretamente ligada ao sistema, é, por ordem de prioridade, imediatamente anterior à demanda de irrigação difusa a jusante, o mesmo ocorrendo para as demandas referentes a abastecimento, adutora, irrigação em perímetros, piscicultura e indústria, respeitando os usos prioritários que, por lei, devem ser atendidos antes de quaisquer outros usos.

Os pedidos de outorga, a ordem em que são atendidos (i.e., ordem de entrada no modelo) e as garantias médias de fornecimento, da vazão referente a cada demanda pelo sistema Coremas-Mãe D'Água são apresentados na Tabela 8.6. Também para este caso, apenas as demandas de abastecimento ligadas ao sistema e de jusante alcançaram garantias de atendimento satisfatórias.

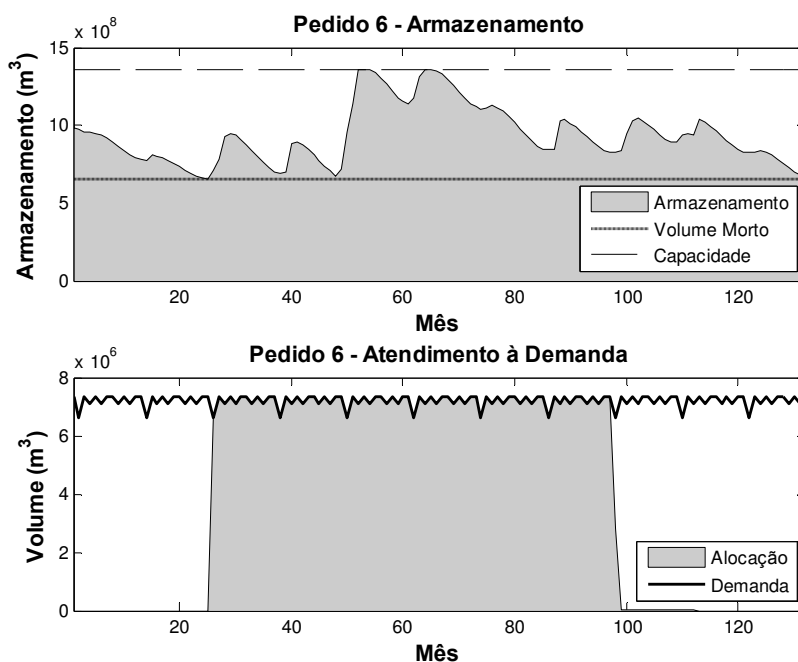
Nota-se que, do pedido 1 ao 5, a ordem estabelecida foi a mesma utilizada na análise anterior, devido aos usos prioritários. Viu-se que, tanto as garantias de atendimento à demanda, quanto o comportamento do sistema ao longo do tempo são os mesmos, não havendo pois, necessidade de analisá-los novamente.



**Tabela 8.6** – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água

Reservatório	Localização da demanda	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
		Ordem de Prioridade	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	Diretamente ligadas ao sistema e de jusante	1	Abastecimento	0,010	100
		2	Abastecimento de jusante	1,548	95,45
		3	Adutoras	0,099	81,06
		4	Adutoras de jusante	0,971	81,06
		5	Irrigação difusa	0,096	81,06
		6	Irrigação difusa de jusante	2,739	54,54
		7	Irrigação em perímetros	5,875	13,63
		8	Irrigação em perímetros a jusante	1,000	12,88
		9	Piscicultura	0,013	12,88
		10	Piscicultura de jusante	0,045	12,88
		11	Indústria	0,004	12,88

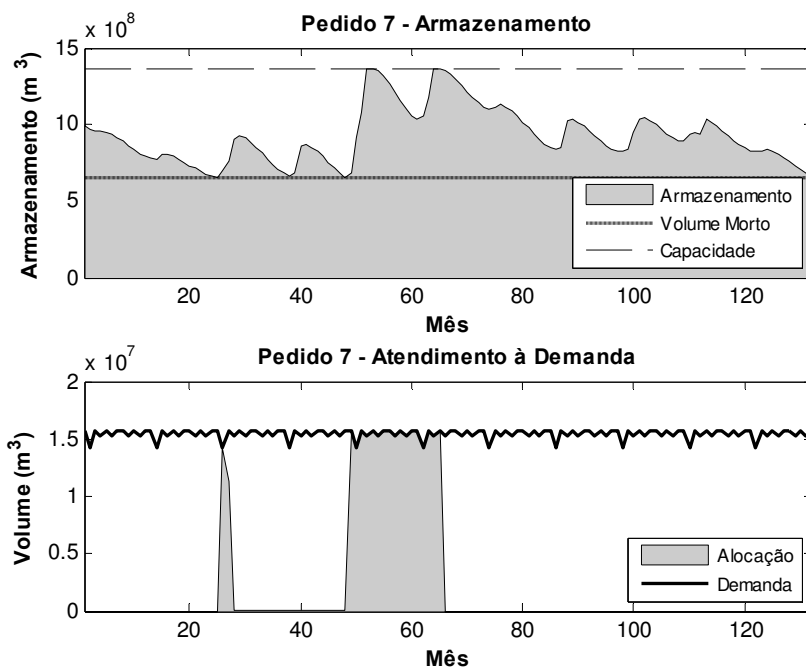
O pedido 6, referente à irrigação difusa de jusante apresentou um aumento percentual de atendimento de 41,66% em relação ao cenário anterior, enquanto que a irrigação em perímetros (pedido 7) teve uma diminuição percentual de 21,22%, devido à alteração na ordem de prioridade das demandas. Os demais pedidos permaneceram sem modificações. As Figuras 8.83 a 8.88 mostram o armazenamento no sistema Coremas-Mãe D'Água e o atendimento às demandas ao longo do tempo.



**Figura 8.83** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação difusa a jusante.

Como observado na Figura 8.83, o volume de água armazenado no sistema é baixo, principalmente no início e no final do período analisado. Justamente nesses períodos, são registradas falhas que comprometem o atendimento à demanda de irrigação difusa a jusante (pedido 6), em quase metade do tempo (45,46%). Caso fosse considerada uma demanda de atendimento igualmente distribuída ao longo do período, a vazão média alocada pelo sistema seria de  $1,494 \text{ m}^3/\text{s}$ , bem menor que os  $2,739 \text{ m}^3/\text{s}$  necessários para suprir a demanda.

O comportamento do sistema, durante o atendimento à demanda de irrigação em perímetros (pedido 7), é mostrado na Figura 8.84. Como o volume de água armazenado no sistema já se encontrava baixo, devido a retiradas para atendimento das demandas anteriores e, além disso, a vazão necessária para suprimento desse pedido é muito alta, a garantia de atendimento somente foi possível em apenas 13,63% do tempo.

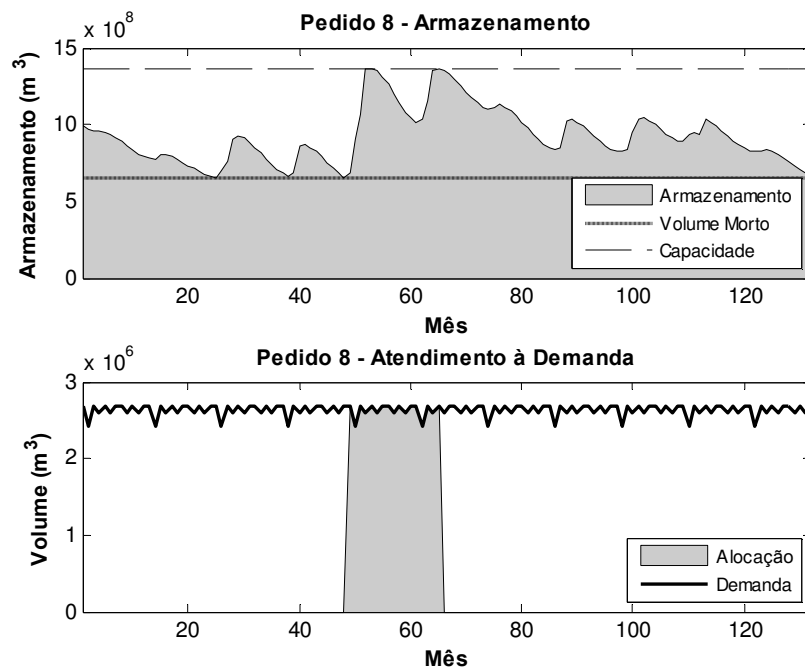


**Figura 8.84** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros.

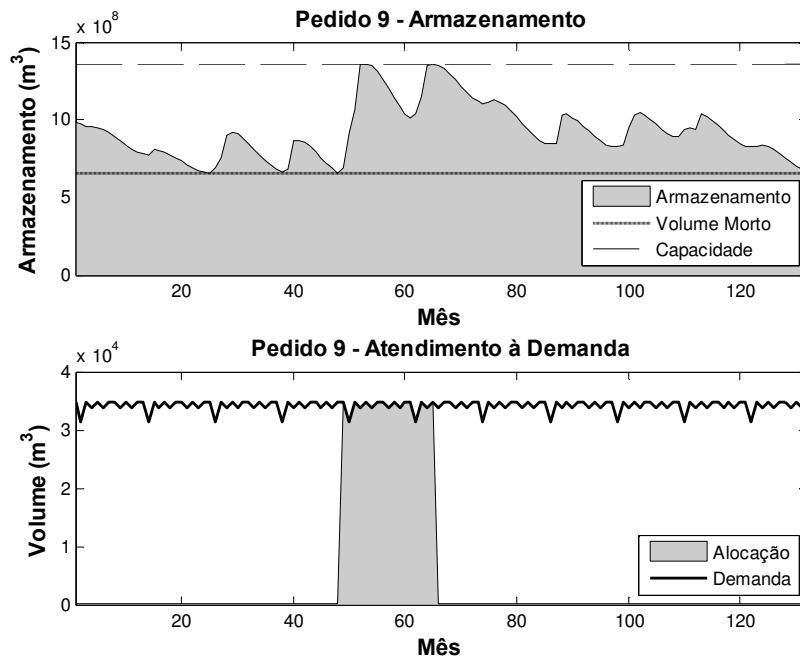
Fazendo uma comparação do volume acumulado no reservatório no pedido em foco, com o volume acumulado na análise (i) (Figura 8.77), referente ao mesmo pedido, não são observadas grandes mudanças de armazenamento. No entanto, aqui o reservatório precisa guardar mais água, para garantir o atendimento de uma vazão de  $2,739 \text{ m}^3/\text{s}$  em 54,54% do

tempo para a demanda anterior (irrigação difusa), bem maior que a demanda anterior ao pedido de irrigação em perímetros da análise (i), que é de apenas  $0,096 \text{ m}^3/\text{s}$ .

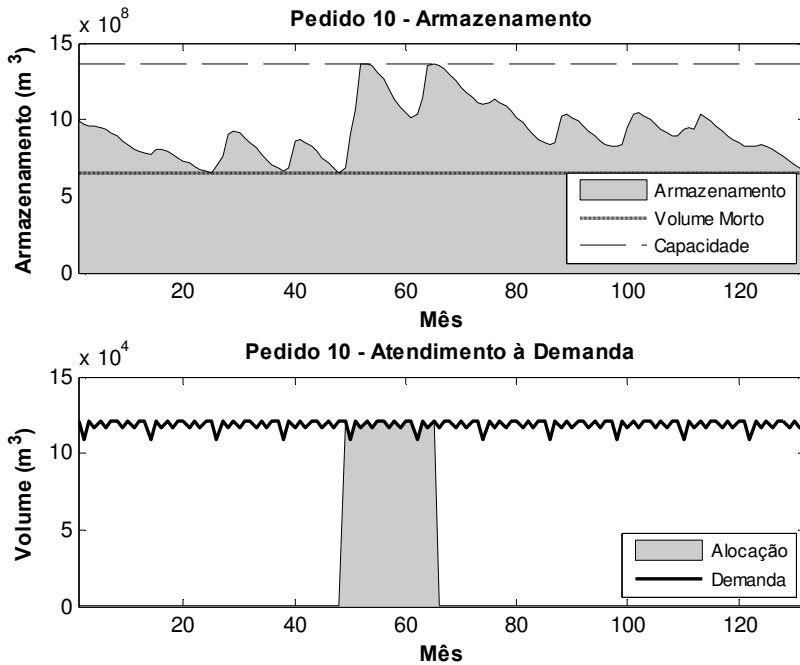
Os demais pedidos referentes à irrigação em perímetros a jusante, piscicultura ligada ao sistema, piscicultura a jusante e indústria a jusante, representados pelas Figuras 8.85, 8.86, 8.87 e 8.88, respectivamente, apresentam falhas de atendimento em 87,12% do período, ou seja, apenas em um pequeno número de meses, em que o volume armazenado no sistema é alto, essas demandas podem ser supridas, igualmente ao observado na análise (i).



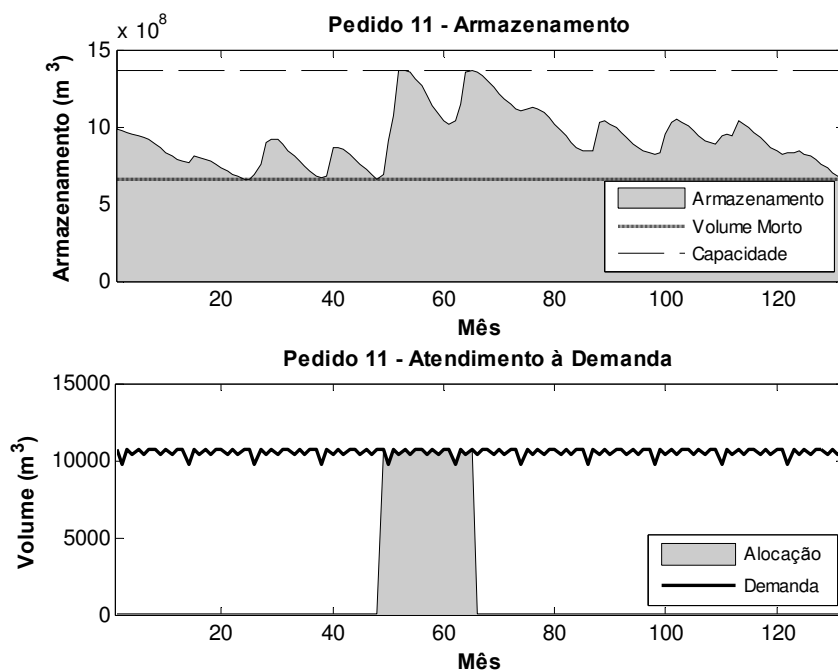
**Figura 8.85** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de irrigação em perímetros a jusante.



**Figura 8.86** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura.



**Figura 8.87** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de piscicultura a jusante.



**Figura 8.88** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento à demanda de indústria.

Portanto, a utilização da equidade para pedidos iguais, realizada nesta análise, pode beneficiar, com maiores percentuais de atendimento, algumas demandas em detrimento de outras. Todavia, o quadro geral de déficit hídrico no sistema Coremas-Mãe D'Água permanece igual ao obtido na análise (i), ou seja, os reservatórios não podem atender a todos os pedidos de outorga a ele destinados, apenas utilizando o volume acumulado acima da cota de ligação.

**iii. Análise considerando equidade de atendimento independentemente das demandas serem diretamente ligadas ao sistema ou a jusante.**

Nesta análise foi adotado o princípio da Equidade, em sua totalidade, ou seja, demandas iguais têm prioridades de atendimento iguais, independentemente de estarem ligadas ao sistema ou a jusante. Por exemplo: o modelo considera que as demandas de piscicultura, tanto diretamente ligadas ao sistema quanto a jusante, têm a mesma prioridade, o mesmo ocorrendo para as demandas referentes a abastecimento, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros e indústria. Neste caso, também se leva em consideração que

abastecimentos propriamente ditos e adutoras destinadas a abastecimento são usos prioritários e, portanto, devem ser atendidos em primeiro lugar.

Na Tabela 8.7 constam os pedidos de outorga, a ordem em que são atendidos e as garantias médias de fornecimento, pelo sistema Coremas-Mãe D'Água, da vazão referente a cada demanda.

**Tabela 8.7** – Dados de outorga, demandas médias e garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água

Reservatório	Localização da demanda	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
		Ordem de Prioridade	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	Diretamente ligadas ao sistema e de jusante	1	Abastecimento	0,010	95,45
		1	Abastecimento de jusante	1,548	95,45
		2	Adutoras	0,099	81,06
		2	Adutoras de jusante	0,971	81,06
		3	Irrigação difusa	0,096	55,30
		3	Irrigação difusa de jusante	2,739	55,30
		4	Irrigação em perímetros	5,875	13,64
		4	Irrigação em perímetros a jusante	1,000	13,64
		5	Piscicultura	0,013	12,88
		5	Piscicultura de jusante	0,045	12,88
		6	Indústria	0,004	12,88

De acordo com os resultados apresentados na tabela, as demandas destinadas a abastecimento, ligadas ao sistema, e abastecimento a jusante (que possuem a mesma prioridade) foram atendidas com garantia de 95,45%. Apesar da queda percentual de 4,55% no atendimento à primeira demanda, em relação às análises anteriores (i e ii), o sistema ainda gera garantias superiores a 90%. As demandas seguintes apresentam níveis de garantia abaixo do desejável. Aquelas referentes à adutora, tanto ligada ao sistema, quanto a jusante que, neste estudo, são tratadas também como prioritárias, apresentam falhas de 18,94%. Para as demandas de irrigação difusa, essas falhas sobem para 44,7%. Todas as demais demandas possuem garantias de atendimento inferiores a 15%. Numa comparação com a análise (ii), pode-se observar poucas mudanças nos percentuais de atendimento do sistema. Apenas para a demanda de irrigação difusa ligada ao sistema, ocorre uma redução expressiva de atendimento (25,76%). Nas demais, a variação fica em torno de 0,8%.

Devido às semelhanças das análises (ii) e (iii), não foram apresentados os gráficos do comportamento do sistema, ao longo do tempo, para a última análise, pois tornaria o estudo demasiadamente repetitivo.

Portanto, para este caso, desde que possuam a mesma finalidade, considerar prioridades iguais, tanto para demandas ligadas ao sistema, quanto a jusante, não causa grande modificações nas garantias de atendimento. Apesar disso, essa possibilidade dada pelo modelo proposto neste estudo é bastante interessante, visto que aspectos como estes não são levados em consideração no modelo atual de outorga adotado para a Bacia do Rio Piancó.

#### **8.1.1.2.3 INFLUÊNCIA DE ALGUMAS DEMANDAS SOBRE O COMPORTAMENTO HÍDRICO DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

Como observado no item anterior, as análises realizadas para o sistema Coremas-Mãe D'Água são sensíveis a mudanças, ou seja, a ordem em que um pedido de outorga é dado pode comprometer seu atendimento e o atendimento a outros pedidos. Visando analisar como o sistema se comportaria, ou seja, a influência que algumas demandas teriam no volume armazenado dos reservatórios e sobre as demais demandas, estudaram-se algumas situações particulares. Essas situações serão descritas nas seções seguintes e, para todas elas, utilizou-se o princípio da Equidade apresentado no item 8.1.1.2.2 (análise ii), por ter sido a análise que gerou melhores garantias de atendimento as demandas.

##### **i. Comportamento do Sistema Coremas-Mãe D'Água caso fossem retiradas as demandas dos perímetros irrigados de montante**

Nesta situação, considerou-se que as demandas destinadas aos perímetros irrigados Piancó II, III e Piancó-Brotas a montante do sistema não seriam adotadas como sendo demandas dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água. A Tabela 8.8 mostra como ficariam as garantias de atendimento às demandas diretamente ligadas ao sistema e as de jusante.

Segundo a tabela, apenas as três primeiras demandas (abastecimento, abastecimento a jusante e adutora) são atendidas com garantia satisfatória, todas as demais apresentam níveis de garantia inferior a 90%.

**Tabela 8.8** – Garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água retiradas as demandas dos perímetros irrigados a montante

Reservatório	Localização da demanda	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
		Ordem de Prioridade	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	Diretamente ligadas ao sistema e a jusante	1	Abastecimento	0,010	100
		2	Abastecimento a jusante	1,548	100
		3	Adutoras	0,099	100
		4	Adutoras a jusante	0,971	89,39
		5	Irrigação difusa	0,096	81,06
		6	Irrigação difusa a jusante	2,739	70,45
		7	Irrigação em Perímetros	5,875	15,91
		8	Irrigação em Perímetros a jusante	1,000	12,88
		9	Piscicultura	0,013	12,88
		10	Piscicultura a jusante	0,045	12,88
		11	Indústria a jusante	0,004	12,88

Comparando a Tabela 8.8 com a Tabela 8.6 (quando calculadas as garantias de atendimento incluindo as demandas de montante), percebem-se aumentos de garantias em pelo menos duas demandas ligadas ao sistema – adutora e irrigação em perímetros, e três a jusante – abastecimento, adutora e irrigação difusa. De um total de onze pedidos de outorga, quando consideradas as demandas de montante, apenas dois são atendidos com garantias superiores a 90%, e, quando desconsideradas as demandas de montante, esse número sobe para três, devido ao aumento de aproximadamente 19% na garantia de atendimento à demanda da adutora (passando de 81,06% para 100%). Além disso, percebe-se um incremento de 4,55% na garantia de atendimento à demanda de abastecimento a jusante, que sobe de 95,45% para 100%, e na garantia de atendimento da adutora, que aumenta 8,3%, chegando bem próximo de 90%.

Portanto, pode-se concluir, por esta análise, que a diminuição da afluência ao sistema Coremas-Mãe D'Água, causada pelas demandas de irrigação dos perímetros Piancó II, III e Piancó-Brotas, compromete o atendimento às demandas diretamente ligadas ao sistema e às demandas de jusante. E mesmo que se retirassem as demandas de montante, 72,73% delas, tanto diretamente ligadas ao sistema quanto a jusante, ainda permaneceriam com garantias de atendimento inferiores a 90%. No entanto, este estudo demonstra que se deve analisar o sistema de uma forma integrada, de modo que retiradas a montante de cada sub-bacia devem ser consideradas, quando da concessão (ou seus estudos) de outorgas às demandas solicitantes.



**ii. Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água caso fosse reduzida a demanda de abastecimento a jusante**

A Resolução nº 687/2004 da ANA, já abordada no Capítulo 6 (item 6.5.2), estabelece em seu Artigo 11, uma vazão mínima de 1,5 m<sup>3</sup>/s, nos cinco primeiros anos de vigência da resolução, correspondente à demanda de abastecimento para atendimento ao Estado do Rio Grande do Norte. Ainda no Artigo 11 também é estabelecido que, a partir do sexto ano de vigência da resolução (ou seja, ano 2010), essa vazão deverá ser reduzida de 1,5 m<sup>3</sup>/s para 1,0 m<sup>3</sup>/s. Essa redução foi testada aqui com o intuito de observar os possíveis benefícios para o sistema Coremas-Mãe D'Água e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8.9. O efeito desta redução é percebida na demanda de abastecimento de jusante que passa de 1,548 m<sup>3</sup>/s para 1,048 m<sup>3</sup>/s.

**Tabela 8.9** – Garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água reduzindo a demandas de abastecimento de jusante

Reservatório	Localização da demanda	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
		Ordem de Prioridade	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	A montante	1	Irrigação Piancó III (Perene)	0,2875	100
		2	Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Perene)	0,1438	100
		3	Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Sazonal)	0,0564	100
		4	Irrigação Piancó II (Sazonal)	0,2997	100
		5	Irrigação Piancó III (Sazonal)	0,1127	100
	Diretamente ligadas ao sistema e a jusante	6	Abastecimento	0,010	100
		7	Abastecimento a jusante	1,048	100
		8	Adutoras	0,099	100
		9	Adutoras a jusante	0,971	81,06
		10	Irrigação difusa	0,096	81,06
		11	Irrigação difusa a jusante	2,739	63,63
		12	Irrigação em Perímetros	5,875	15,15
		13	Irrigação em Perímetros a jusante	1,000	12,88
		14	Piscicultura	0,013	12,88
		15	Piscicultura a jusante	0,045	12,88
		16	Indústria a jusante	0,004	12,88

De acordo com a Tabela 8.9, o ganho de 0,5 m<sup>3</sup>/s para o sistema Coremas-Mãe D'Água acrescenta algumas mudanças positivas no quadro geral de atendimento às demandas. Quando comparadas as garantias de atendimento obtidas incluindo a vazão de 1,5 m<sup>3</sup>/s (Tabelas 8.7), com as garantias utilizando apenas 1,0 m<sup>3</sup>/s, percebe-se um aumento de 4,55% (95,45% para 100%) na garantia de atendimento à demanda de abastecimento a jusante; 18,94% (81,06% para 100%), na garantia de atendimento referente à adutora (que passa a

obedecer a lei 9.433, com relação ao atendimento às demandas prioritárias); 9,09% (54,54% para 63,63%), no atendimento à demanda de irrigação difusa a jusante e de 1,52% no atendimento à demanda de irrigação em perímetros, passando de 13,63% para 15,15%. Todavia, tanto para a adutora a jusante quanto para a irrigação difusa a jusante, assim como para a irrigação em perímetros, esse aumento ainda foi inferior ao mínimo de 90% considerado satisfatório. As demais demandas (do sistema e a jusante) permanecem com as mesmas garantias que possuíam, quando estudado o sistema sem a diminuição da demanda de abastecimento.

Deve-se lembrar que uma redução ou um aumento de determinada vazão utilizada para atender uma dada demanda só alterará o seu próprio atendimento e o atendimento das demandas seguintes, devido ao critério de prioridade estabelecido pelo modelo.

### **iii. Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água sem a demanda do perímetro irrigado de Sousa**

Outra situação analisada é a retirada da demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s diretamente ligada ao sistema correspondente ao consumo para irrigação das Várzeas de Sousa, através da diminuição de 5,875 m<sup>3</sup>/s para 1,875 m<sup>3</sup>/s da vazão referente a irrigação em perímetros . Os resultados obtidos para este caso, que estão apresentados na Tabela 8.10, demonstram que esse decréscimo de vazão tem pouca influência sobre o potencial de atendimento do sistema.

Se comparadas as garantias de atendimento das demandas com e sem o consumo para irrigação do perímetro de Sousa (Tabelas 8.6 e 8.10), observa-se que a maioria dos pedidos de outorga permanecem com a mesma garantia, até porque essa demanda só poderá interferir nas demandas subseqüentes. Apenas a irrigação em perímetros (pedido 12) apresenta um incremento de 3,04%, passando de 13,63% para 16,67%. As quatro últimas demandas (irrigação em perímetros a jusante, piscicultura ligada ao sistema e a jusante, e indústria a jusante) permanecem inalteradas. Portanto, apesar de a demanda retirada do sistema ser alta (4,0 m<sup>3</sup>/s), pode-se concluir que, para este caso, o efeito não é muito relevante. Este resultado é justificado porque, na ordem de prioridade considerada para esta análise, a irrigação em perímetros está entre as últimas demandas a serem atendidas. Logo, quando essa demanda vem ser analisada, o sistema já apresenta várias falhas deixadas pelas demandas anteriores. Modificações no quadro de atendimento podem ser observadas, se a ordem dos pedidos de outorga for alterada; assim sendo, a retirada da demanda referente à irrigação das

Várzeas de Sousa poderá ter um influência maior sobre o atendimento às outras demandas do sistema.

**Tabela 8.10** – Garantia de atendimento do sistema Coremas-Mãe D'Água sem as demandas do perímetro irrigado de Sousa

Reservatório	Localização da demanda	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
		Ordem de Prioridade	Finalidade		
Coremas-Mãe D'Água	A montante	1	Irrigação Piancó III (Perene)	0,2875	100
		2	Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Perene)	0,1438	100
		3	Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Sazonal)	0,0564	100
		4	Irrigação Piancó II (Sazonal)	0,2997	100
		5	Irrigação Piancó III (Sazonal)	0,1127	100
	Diretamente ligadas ao sistema e a jusante	6	Abastecimento	0,010	100
		7	Abastecimento a jusante	1,548	95,45
		8	Aduadoras	0,099	81,06
		9	Aduadoras a jusante	0,971	81,06
		10	Irrigação difusa	0,096	81,06
		11	Irrigação difusa a jusante	2,739	54,54
		12	Irrigação em Perímetros	1,875	16,67
		13	Irrigação em Perímetros a jusante	1,000	12,88
		14	Piscicultura	0,013	12,88
		15	Piscicultura a jusante	0,045	12,88
		16	Indústria a jusante	0,004	12,88

### 8.1.2 DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS

Este sub-cenário analisa o comportamento individual dos reservatórios da Bacia do Rio Piancó, considerando demandas hídricas futuras e confrontando essas demandas com a disponibilidade hídrica da sub-bacia de contribuição de cada reservatório estudado.

Como as demandas utilizadas para o sistema Coremas Mãe D'Água e sua jusante foram obtidas através do Marco Regulatório (Resolução nº 687 da ANA) e, nesse documento, essas demandas são consideradas como máximas possíveis para outorga, não foi necessário rodar o modelo, neste sub-cenário para os reservatórios Coremas-Mãe D'Água e sua jusante. Portanto, o desenvolvimento do estudo e a obtenção dos resultados foram feitos apenas para os vinte e quatro reservatórios de montante do sistema.

### 8.1.2.1 RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA

Com exceção das demandas representadas pelos pedidos de outorga nos reservatórios, e do volume máximo dos reservatórios Poço Redondo e Canoas, os demais dados de entrada dos 24 reservatórios de montante do sistema não sofreram modificações em relação ao cenário de demandas atuais. Os resultados referentes a este sub-cenário serão apresentados nas seções seguintes.

#### 8.1.2.1.1 RESERVATÓRIOS DESTINADOS APENAS A USOS PRIORITÁRIOS (ABASTECIMENTO) – ANO 2017

O estudo da demanda dos reservatórios destinados apenas a abastecimento de água para o horizonte de planejamento 2017 é apresentado na Tabela 8.11. Como o reservatório Serra Vermelha I apresentou um decréscimo de demanda em relação ao cenário atual, e, em Piranhas, essa demanda manteve-se constante, não foi preciso realizar novas otimizações para esses reservatórios. De acordo com o observado na tabela, os reservatórios Jatobá II, Boqueirão dos Cochos, Emas, Jenipapeiro, Bom Jesus e Glória, que passaram novamente pelo processo de otimização, apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, as demandas futuras desses reservatórios foram atendidas com garantias superiores a 90%. Apenas os reservatórios Jatobá II e Emas mostraram uma pequena diminuição dessa garantia de atendimento em relação ao cenário atual e o reservatório Catolé continua com nenhuma garantia de atendimento.

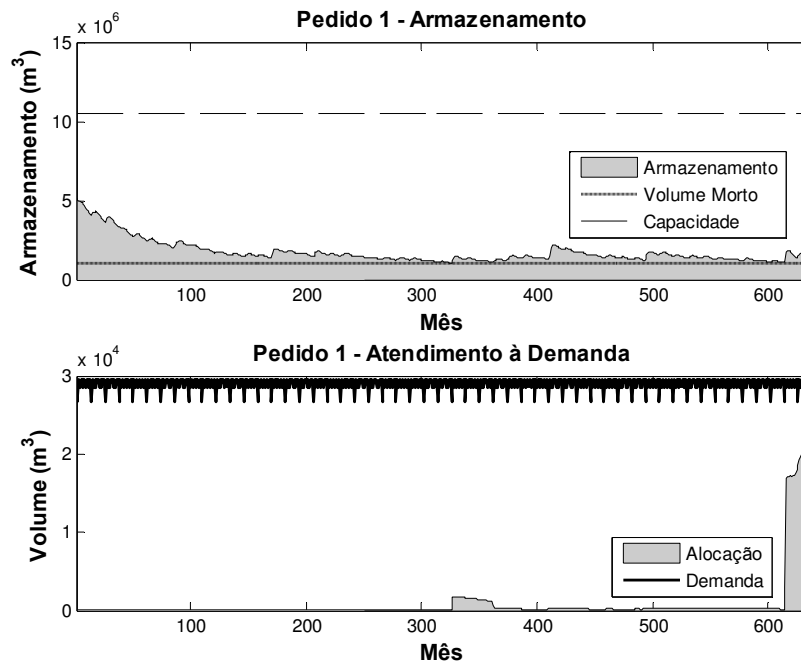
**Tabela 8.11** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados apenas a abastecimento para o ano de 2017

Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Católé	1	Abastecimento	0,013	0,00
Jatobá II	1	Abastecimento	0,052	96,38
Boq. Dos Cochos	1	Abastecimento	0,011	100,00
Emas	1	Abastecimento	0,005	97,80
Jenipapeiro	1	Abastecimento	0,008	100,00
Bom Jesus	1	Abastecimento	0,008	100,00
Glória	1	Abastecimento	0,011	100,00

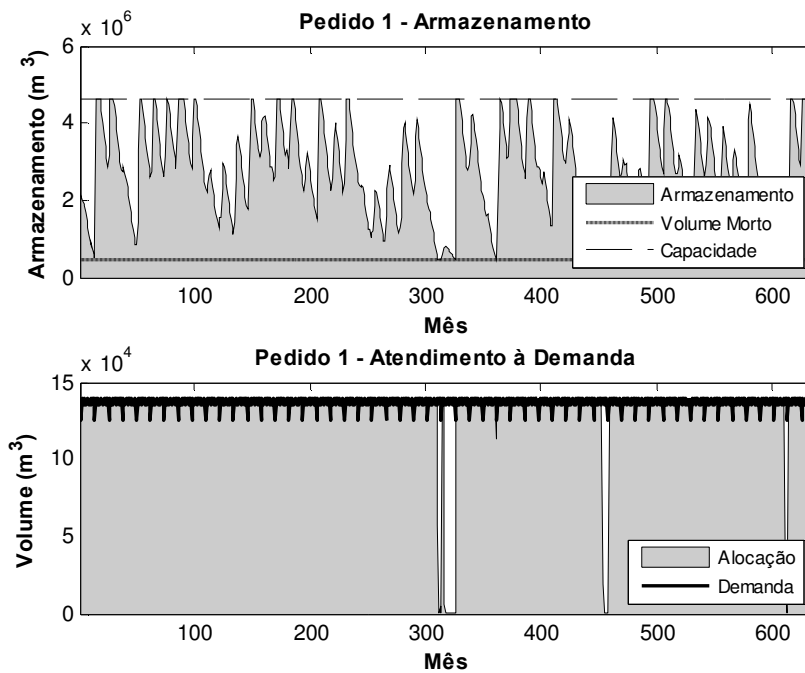
As Figuras 8.89 a 8.95 mostram o comportamento, ao longo do tempo, dos volumes dos reservatórios destinados apenas a usos prioritários para o ano de 2017 e o atendimento às suas demandas.

O reservatório Catolé representado pela Figura 8.89 apresenta o mesmo problema de atendimento a demanda já discutido anteriormente no item 8.1.1.1.1.

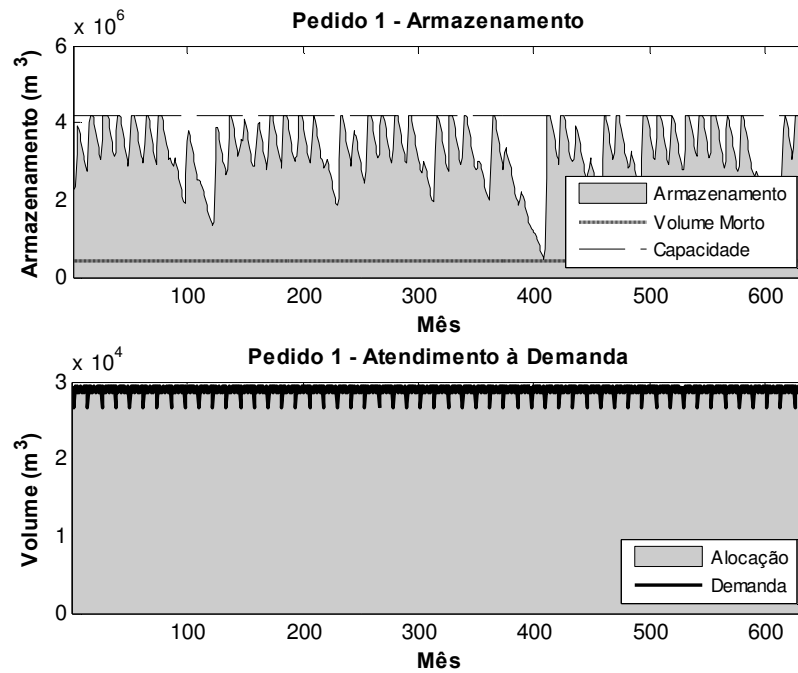
Nota-se pelas demais Figuras (8.90 a 8.95) que quase nenhuma modificação, tanto no volume armazenado quanto no número de falhas de atendimento, foi observada nos reservatórios, se comparados com o estudo das demandas atuais. Esse fato é naturalmente aceitável devido a dois fatores: (1) as demandas atuais dos reservatórios destinadas ao abastecimento já eram pequenas e relativamente fáceis de serem atendidas, o que se refletiu nas demandas futuras, apesar de alguns reservatórios apresentarem volumes bem comprometidos; (2) como o aumento populacional das cidades abastecidas pelos reservatórios é pequeno, por se tratar de pequenos centros urbanos, o aumento da demanda também é mínimo, apesar de se considerar um horizonte de 10 anos.



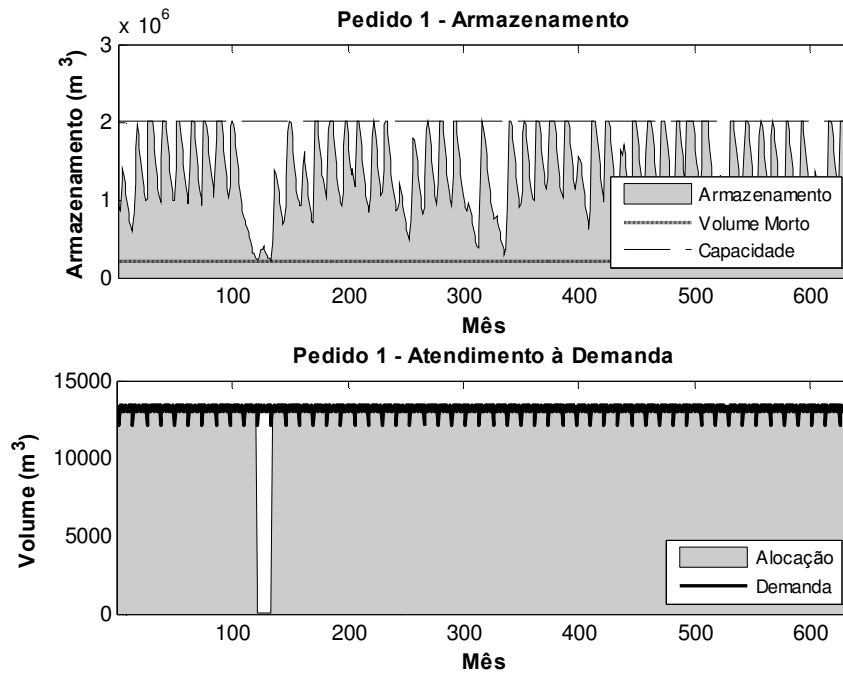
**Figura 8.89** – Comportamento do Reservatório Catolé, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



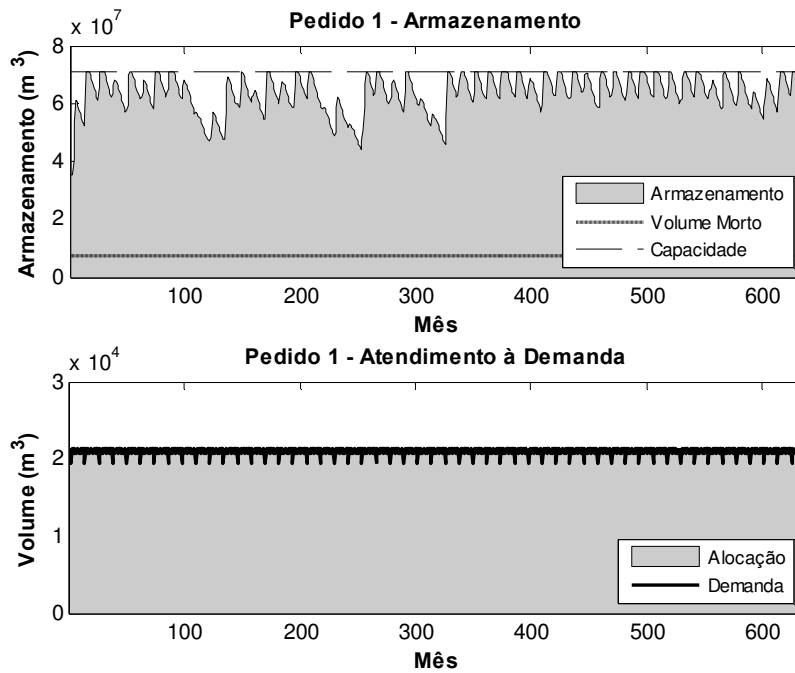
**Figura 8.90** – Comportamento do Reservatório Jatobá II, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



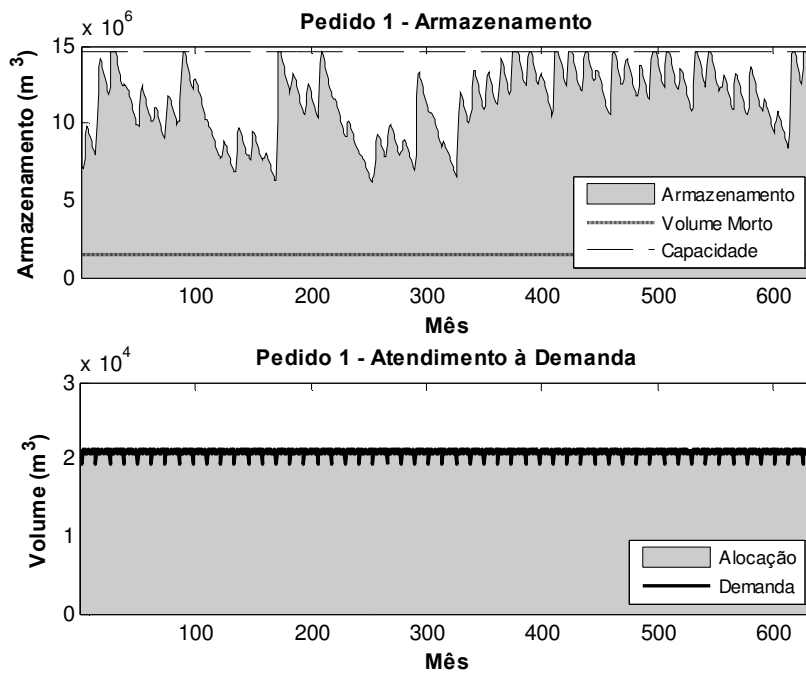
**Figura 8.91** – Comportamento do Reservatório Boqueirão dos Cochos, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



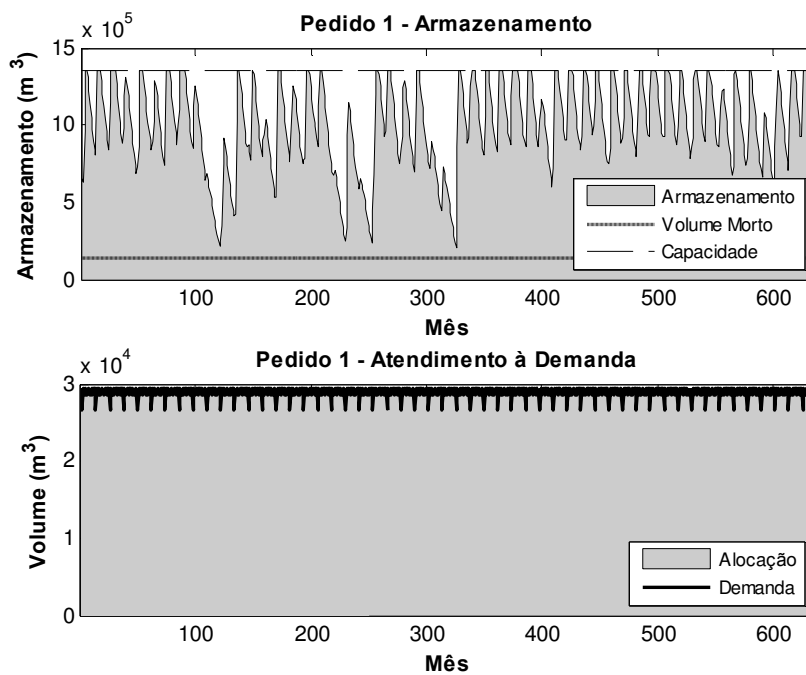
**Figura 8.92** – Comportamento do Reservatório Emas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



**Figura 8.93** – Comportamento do Reservatório Jenipapeiro, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



**Figura 8.94** – Comportamento do Reservatório Bom Jesus, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



**Figura 8.95** – Comportamento do Reservatório Gloria, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



### 8.1.2.1.2 RESERVATÓRIOS DESTINADOS APENAS A USOS PRIORITÁRIOS (ABASTECIMENTO) – ANO 2027

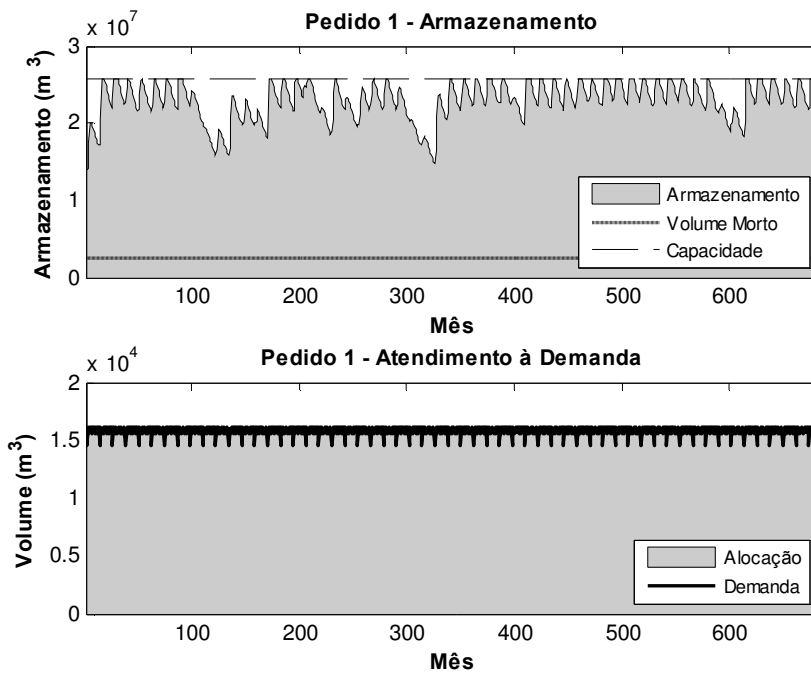
A Tabela 8.12 apresenta o estudo da demanda dos reservatórios destinados apenas a abastecimento de água, para o horizonte de planejamento 2027. Todos os processos de outorga para os reservatórios foram novamente otimizados, exceto para o reservatório Serra Vermelha I, que continuou apresentando decréscimo de demanda em relação ao cenário atual não sendo necessário, portanto, realizar novas otimizações. O reservatório Piranhas, cujo atendimento às demandas não havia sido otimizado para o horizonte 2017, por manter a demanda constante, também é considerado neste sub-cenário.

Segundo a tabela, todos os reservatórios apresentaram bons resultados com atendimento superior a 90%. Os reservatórios Piranhas, Catolé, Jenipapeiro e Bom Jesus permaneceram com a mesma garantia de atendimento em relação ao ano de 2017. Já os reservatórios Jatobá II, Boqueirão dos Cochos, Emas e Glória mostraram diminuição na garantia de atendimento em relação ao cenário futuro (ano 2017). Atenção especial deve ser dada ao reservatório Jatobá II, pois o atendimento à demanda para o ano de 2027 ficou no limite mínimo estabelecido pelo decreto que regulamenta a outorga na Paraíba (90%).

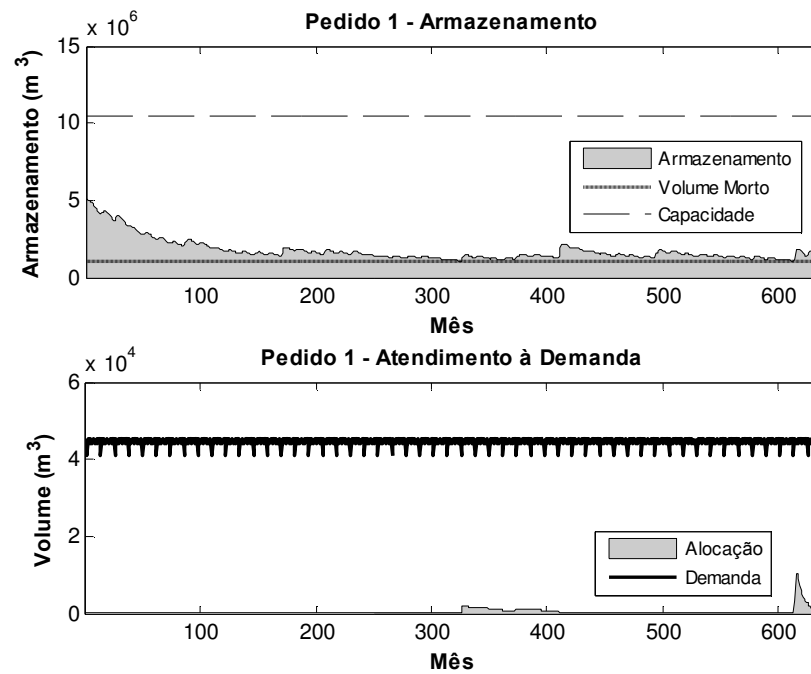
**Tabela 8.12** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados apenas a abastecimento para o ano de 2027

Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Piranhas	1	Abastecimento	0,006	100,00
Católé	1	Abastecimento	0,017	0,00
Jatobá II	1	Abastecimento	0,066	90,40
Boq. Dos Cochos	1	Abastecimento	0,012	99,68
Emas	1	Abastecimento	0,006	97,48
Jenipapeiro	1	Abastecimento	0,011	100,00
Bom Jesus	1	Abastecimento	0,010	100,00
Glória	1	Abastecimento	0,013	99,52

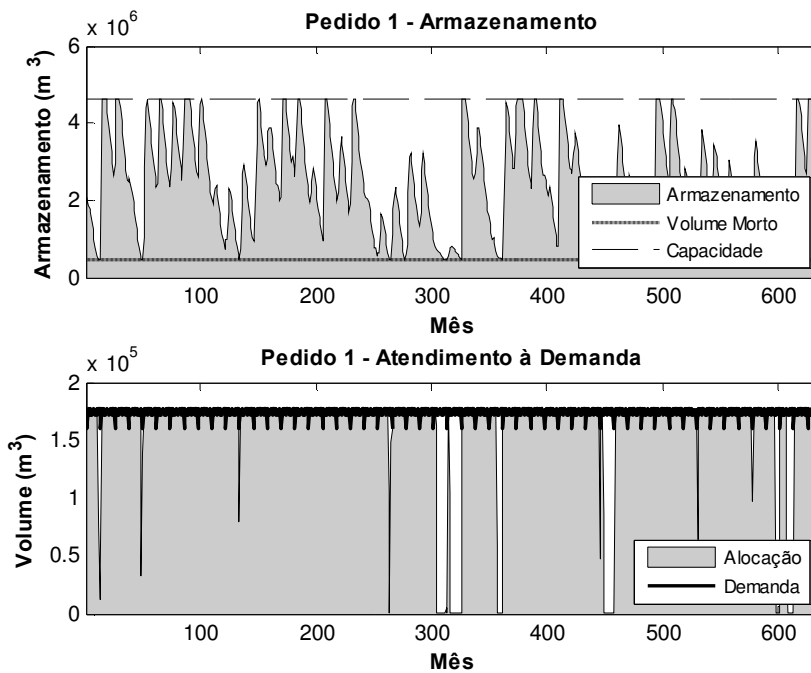
Nas Figuras 8.96 a 8.103, expõe-se o comportamento, ao longo do tempo, dos volumes nos reservatórios destinados apenas a usos prioritários para o ano de 2027. Percebe-se, observando as figuras, que apesar de mais 10 anos serem considerados no estudo (de 2017 para 2027), ainda continuam ocorrendo poucas alterações, tanto no volume armazenado quanto no número de falhas de atendimento, em todos os reservatórios analisados, devido aos mesmos motivos justificados para o horizonte 2017.



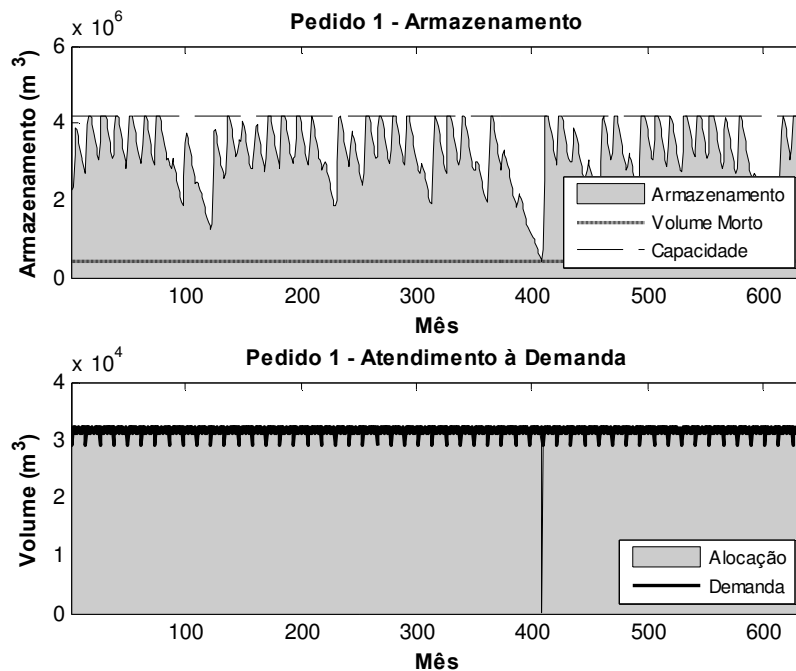
**Figura 8.96** – Comportamento do Reservatório Piranhas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



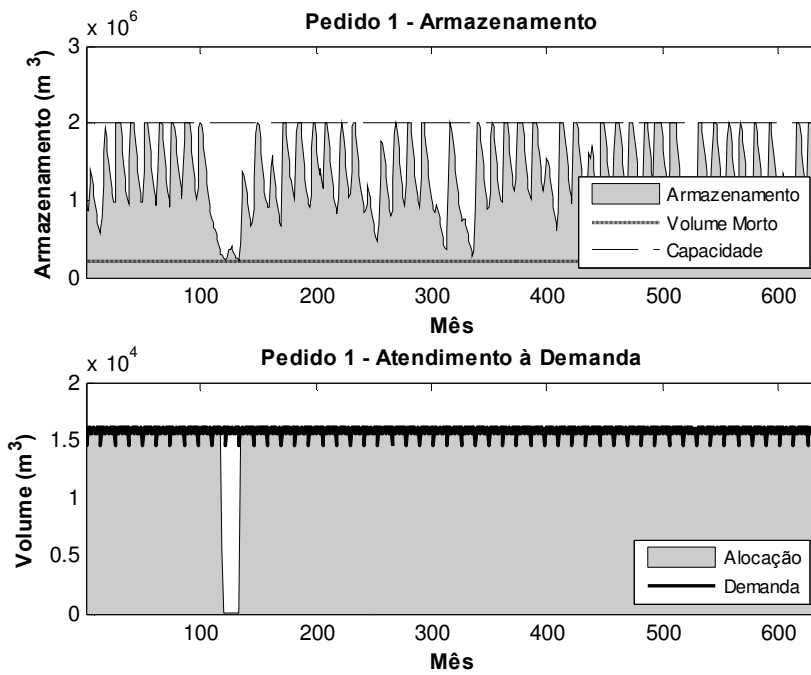
**Figura 8.97** – Comportamento do Reservatório Catolé, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



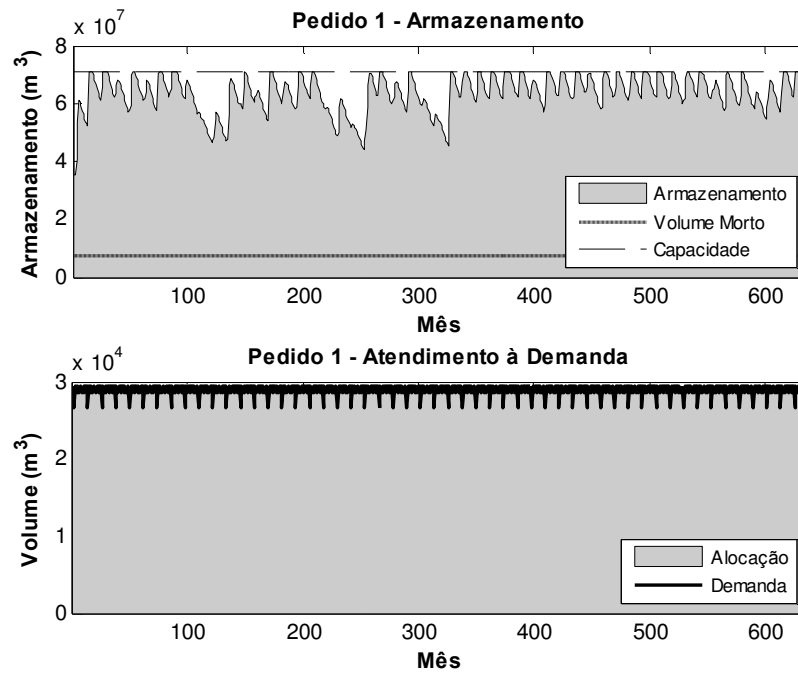
**Figura 8.98** – Comportamento do Reservatório Jatobá II, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



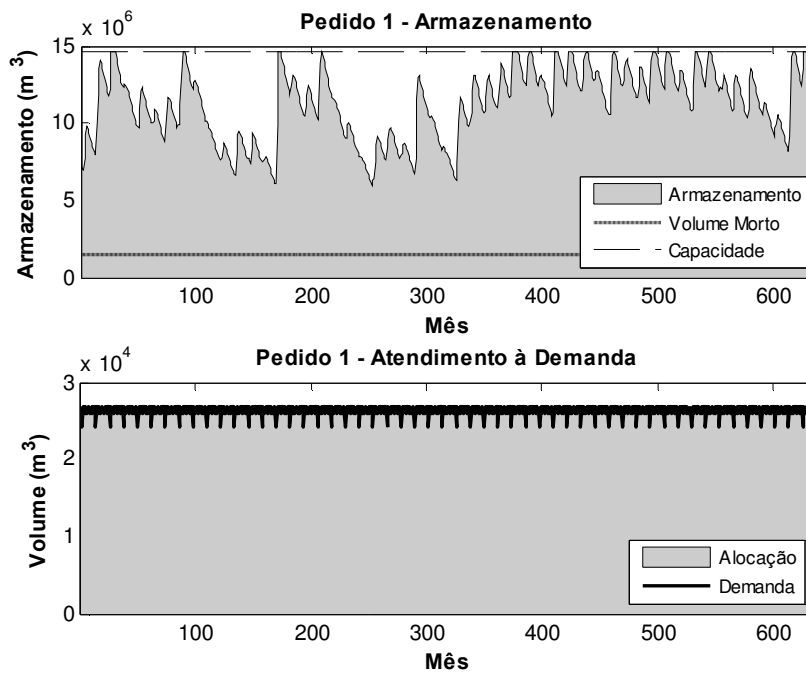
**Figura 8.99** – Comportamento do Reservatório Boqueirão dos Cochós, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



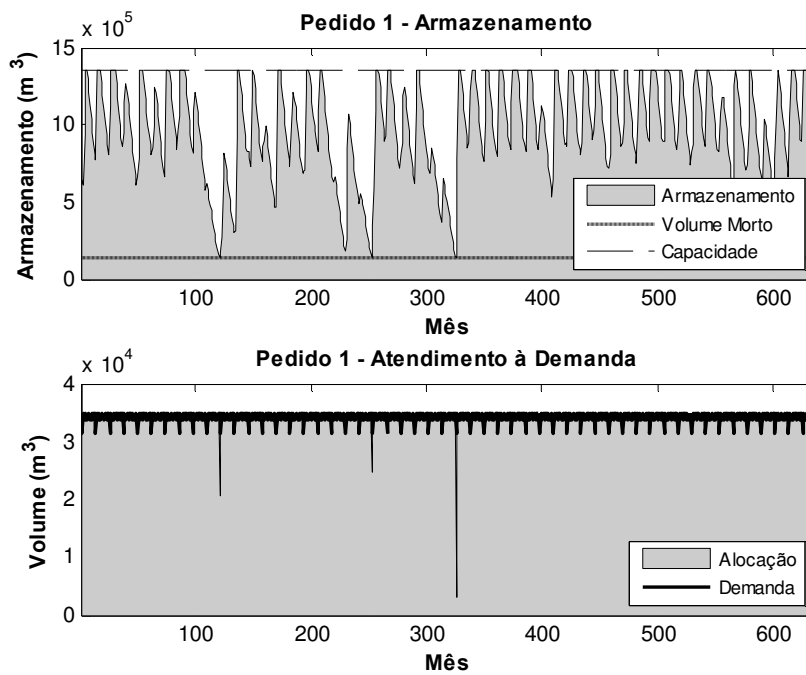
**Figura 8.100** – Comportamento do Reservatório Emas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



**Figura 8.101** – Comportamento do Reservatório Jenipapeiro, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



**Figura 8.102** – Comportamento do Reservatório Bom Jesus, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



**Figura 8.103** – Comportamento do Reservatório Glória, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.

Portanto, pode-se concluir, de acordo com a série histórica de vazões afluentes, que, para os reservatórios analisados, o atendimento às demandas de abastecimento estão asseguradas por pelo menos 20 anos, com exceção do reservatório Catolé que apresentou sérios problemas de atendimento à demanda, tanto no cenário atual quanto no cenário futuro (anos de 2017 e 2027).

#### **8.1.2.1.3 RESERVATÓRIOS DESTINADOS A USOS PRIORITÁRIOS E NÃO PRIORITÁRIOS (ABASTECIMENTO E OUTROS USOS) – ANO 2017**

Neste cenário, são analisados os pedidos de outorga dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos, tais como irrigação e piscicultura, para o horizonte 2017. No caso de abastecimento, serão consideradas as demandas previstas para o ano de 2017 em todos os reservatórios, exceto Frutuoso II, cujas demandas futuras decrescem, e Cachoeira dos Cegos, que mantém as demandas constantes. Para irrigação, como já foram utilizadas no cenário de demanda hídrica atual as áreas máximas possíveis de serem irrigadas, consideraram-se, neste caso, modificações apenas no reservatório Poço Redondo, que possui um volume atual de 10 hm<sup>3</sup> e aqui será analisado como se estivesse sido concluído, correspondendo a um volume de 62,75 hm<sup>3</sup>. Para piscicultura, foram mantidos os pedidos de outorga requeridos no cenário de demanda hídrica atual, por não se dispor de dados de previsões de demanda futura. As demandas médias e garantias de atendimento referentes a este sub-cenário estão apresentadas na Tabela 8.13, excluindo os reservatórios Frutuoso II e Cachoeira dos Cegos, cujas demandas não foram modificadas.

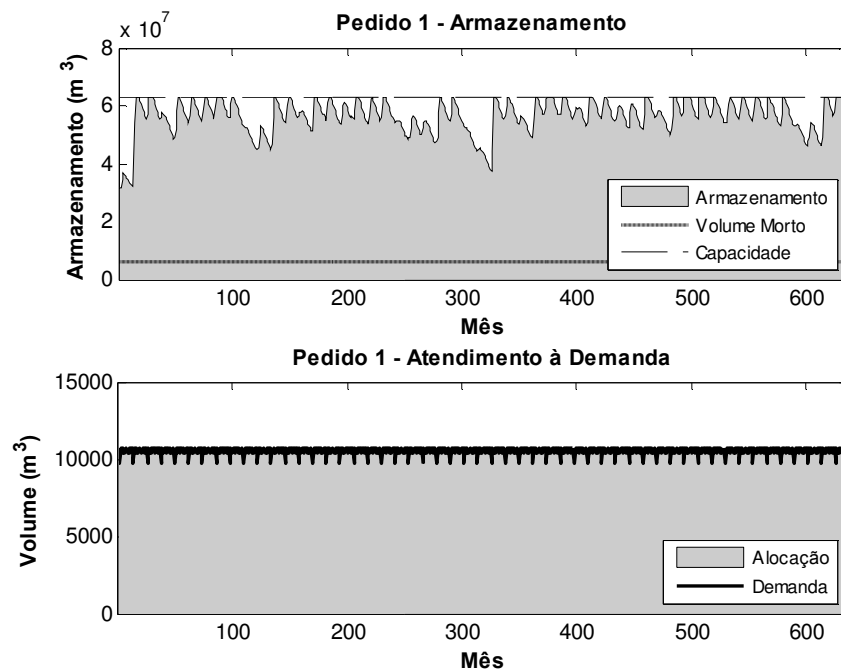
De acordo com a Tabela 8.13, apesar do aumento, todas as demandas prioritárias (abastecimento) são atendidas com garantia superiores a 90%, igualmente ao cenário de demanda atual. Apenas o reservatório Cachoeira dos Alves apresenta falhas maiores que 10% no atendimento às demandas secundárias. Nos reservatórios que possuem demandas terciárias, todas são atendidas com garantia de 100%. Especificamente para o reservatório Poço Redondo, observa-se um aumento da garantia de atendimento nos pedidos 2 e 3, quando comparadas com o cenário de demanda hídrica atual, devido ao aumento da capacidade do reservatório. Portanto, pode-se concluir que, de uma maneira geral, esses reservatórios apresentam boa sustentabilidade hídrica para atendimento a demandas futuras, exceto o reservatório Cachoeira dos Alves.

**Tabela 8.13** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos para o ano de 2017.

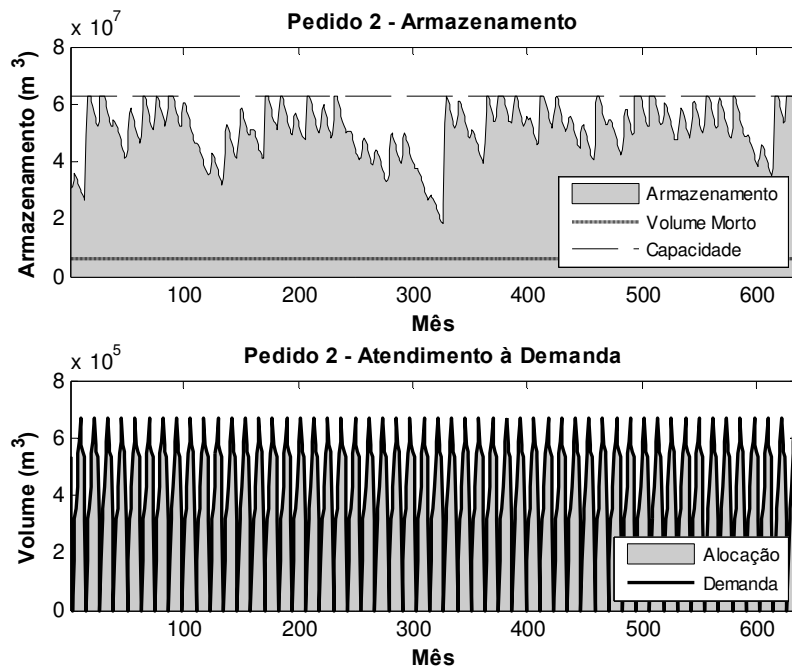
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Poço Redondo	1	Abastecimento	0,0040	100
	2	Irrigação P.Redondo (Perene)	0,1598	100
	3	Irrigação P.Redondo (Sazonal)	0,0614	100
Bruscas	1	Abastecimento	0,0040	100
	2	Irrigação Bruscas (Perene)	0,1438	100
	3	Irrigação Bruscas (Sazonal)	0,0564	100
	4	Irrigação Difusa	0,0011	100
Cach. dos Alves	1	Abastecimento	0,0540	97,48
	2	Piscicultura	0,0172	83,02
Saco de N. Olinda	1	Abastecimento	0,0090	100
	2	Irrigação Gravatá (Perene)	0,1255	100
	3	Irrigação Gravatá (Sazonal)	0,0489	100
	4	Piscicultura	0,0117	100
Queimadas	1	Abastecimento	0,0090	100
	2	Piscicultura	0,0144	100

Uma análise mais específica por reservatório e respectivos pedidos de outorgas é apresentada nas Figuras 8.104 a 8.118.

O comportamento do reservatório Poço Redondo, com capacidade de 62,75 hm<sup>3</sup>, ao atender a demanda prioritária de abastecimento, é apresentado na Figura 8.104. Conforme demonstra a figura, o volume de água armazenado no reservatório é suficiente para atender, com garantia de 100%, a essa demanda e às demandas de irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro Poço Redondo (Figuras 8.105 e 8.106, respectivamente). Como ocorreu uma melhora no volume armazenado no reservatório, percebe-se um aumento da garantia de atendimento da demanda secundária (cerca de 3,5%) e terciária (aproximadamente 14%, ficando acima de 90%), quando comparadas com o resultado da análise que utiliza a capacidade atual do reservatório. Como as demandas para irrigação, tanto de culturas perenes quanto sazonais, são bem maiores que a demanda de abastecimento, nota-se uma queda acentuada do armazenamento do reservatório do pedido de outorga 1 para o 2 (Figuras 8.104 e 8.105) e do pedido 2 para o 3 (Figuras 8.105 e 8.106). No entanto, o reservatório, após atender às demandas, ainda apresenta reservas de água para novos pedidos de outorga. Portanto, a conclusão do reservatório Poço Redondo se faz necessária para o atendimento, com êxito, às demandas diretamente ligadas a ele e outras que porventura venham a existir.

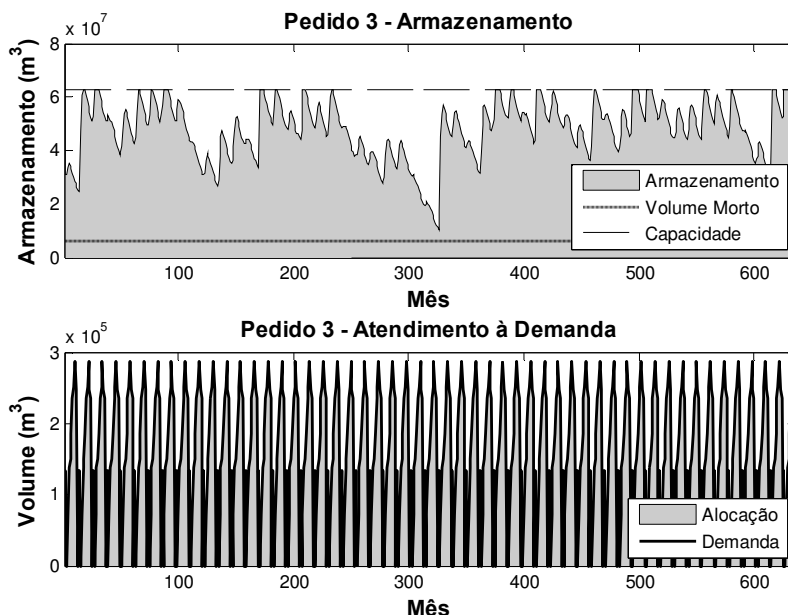


**Figura 8.104** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



**Figura 8.105** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Poço Redondo no ano 2017.





**Figura 8.106** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Poço Redondo no ano 2017.

As Figuras 8.107 a 8.110 apresentam o volume armazenado e o atendimento aos pedidos de outorga do reservatório Bruscas, projetadas para o ano 2017, para as demandas de abastecimento, irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro de Bruscas e irrigação difusa. Como apenas a demanda de abastecimento foi alterada nesse caso, poucas modificações de volume armazenado e atendimento às demandas são observadas entre esse cenário e o cenário de demanda hídrica atual. Mesmo duplicada a vazão para abastecimento (de 0,002 m<sup>3</sup>/s para 0,004 m<sup>3</sup>/s), o reservatório ainda atende a todas as demandas sem registro de falhas, ou seja, com garantia de 100%. Este fato se dá porque, apesar de duplicada, a demanda para abastecimento é ainda muito pequena.

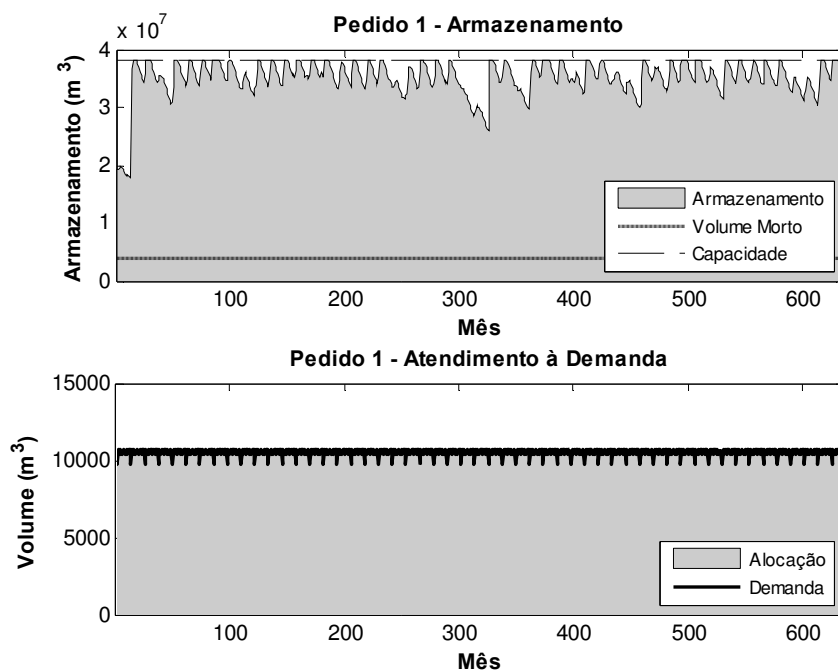


Figura 8.107 – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017

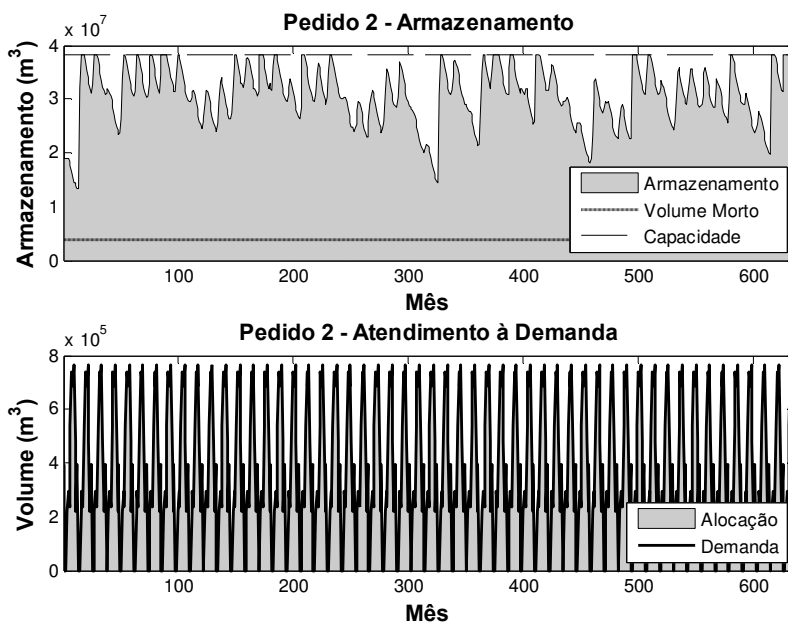
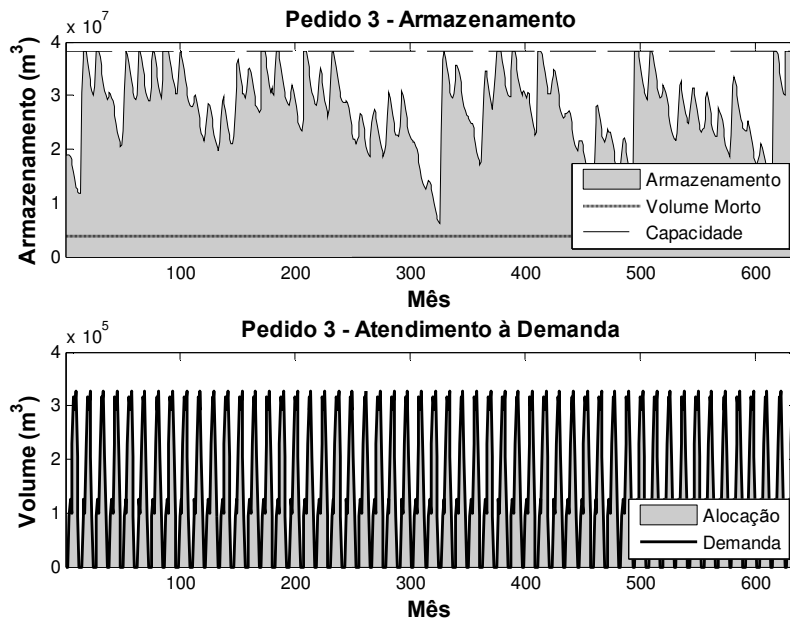
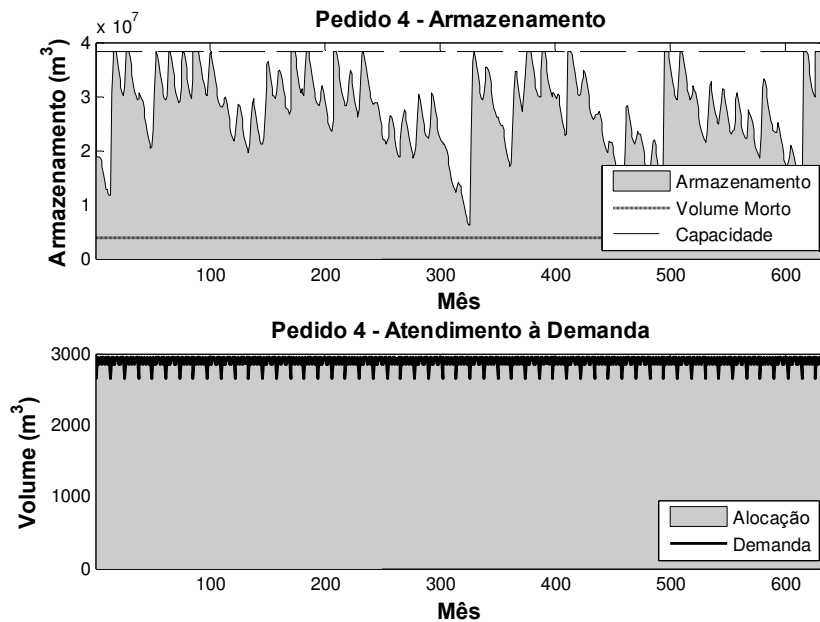


Figura 8.108 – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Bruscas no ano 2017.

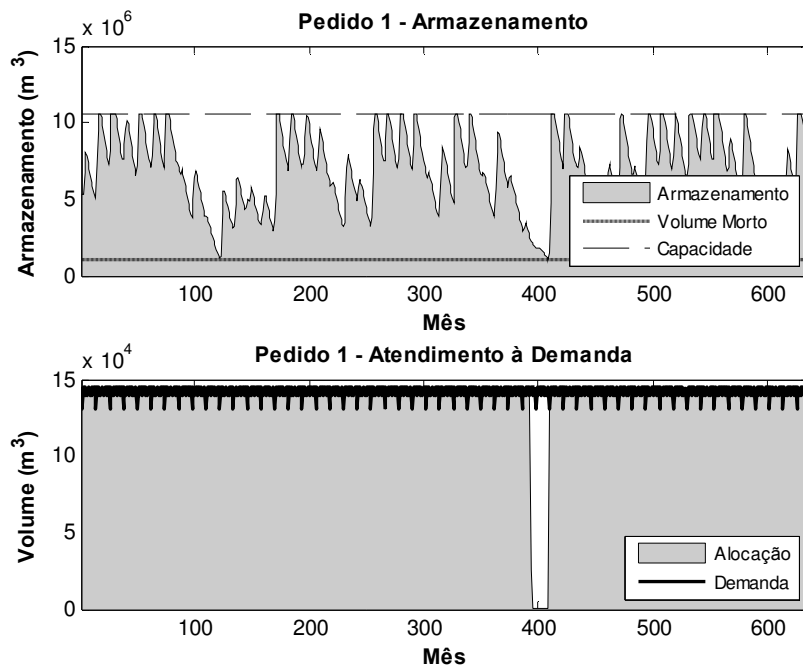


**Figura 8.109** – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Bruscas no ano 2017.

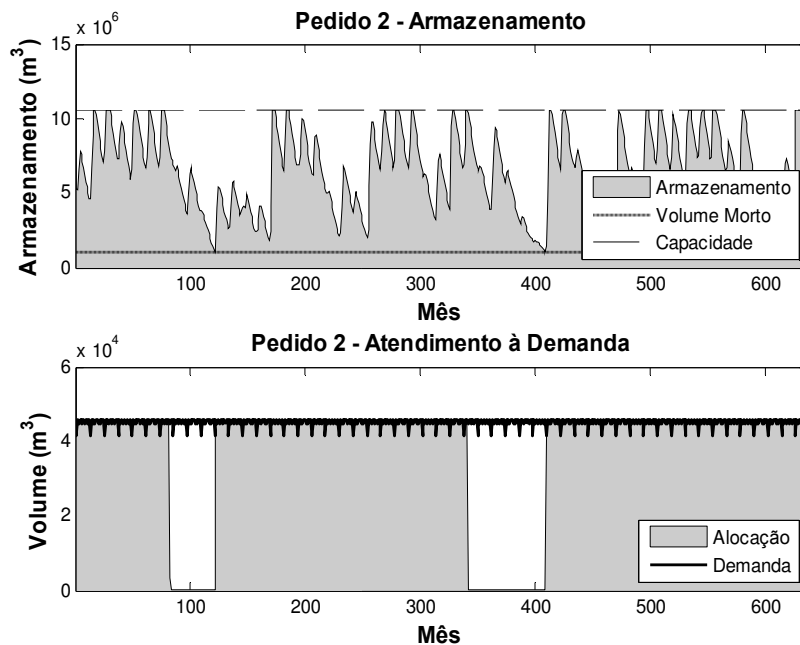


**Figura 8.110** – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação difusa no ano 2017.

O comportamento do reservatório Cachoeira dos Alves, junto com o atendimento das demandas de abastecimento e piscicultura, são apresentados nas Figuras 8.111 e 8.112, respectivamente. No cenário de demanda hídrica atual, o reservatório apresentava problemas quanto ao atendimento à demanda de abastecimento, devido ao seu baixo nível de armazenamento. Logo, neste cenário, em virtude do aumento da vazão demandada, o volume armazenado ficou ainda mais comprometido, reduzindo a garantia de atendimento aos dois pedidos de outorga. No pedido 1 (abastecimento), a garantia de atendimento caiu 0,52% (de 98% para 97,48%), ainda mantendo um nível aceitável; já para o pedido 2 (piscicultura), a queda de garantia foi de 3,65% (86,67% para 83,02%), demonstrando-se não satisfatória, por ser ainda inferior a 90%.



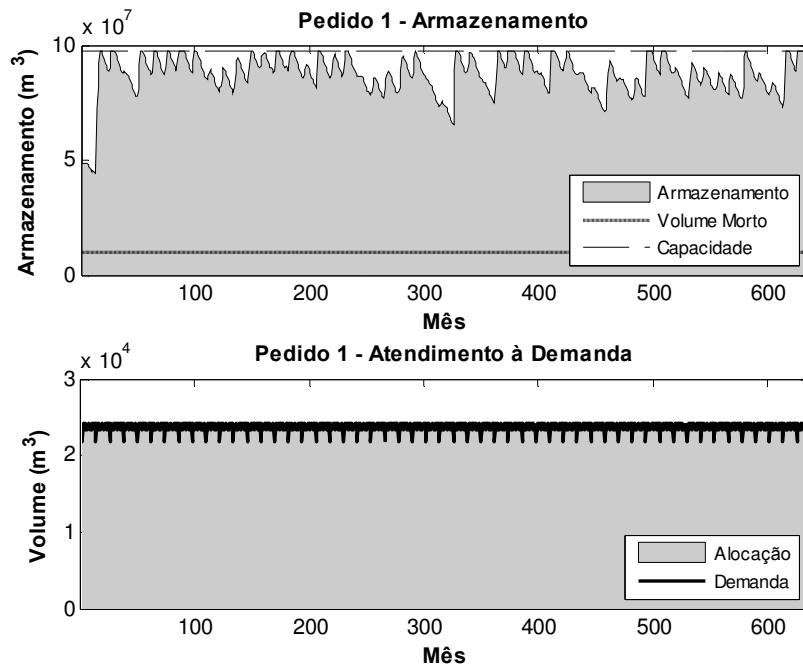
**Figura 8.111** – Comportamento do Reservatório Cachoeira do Alves, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



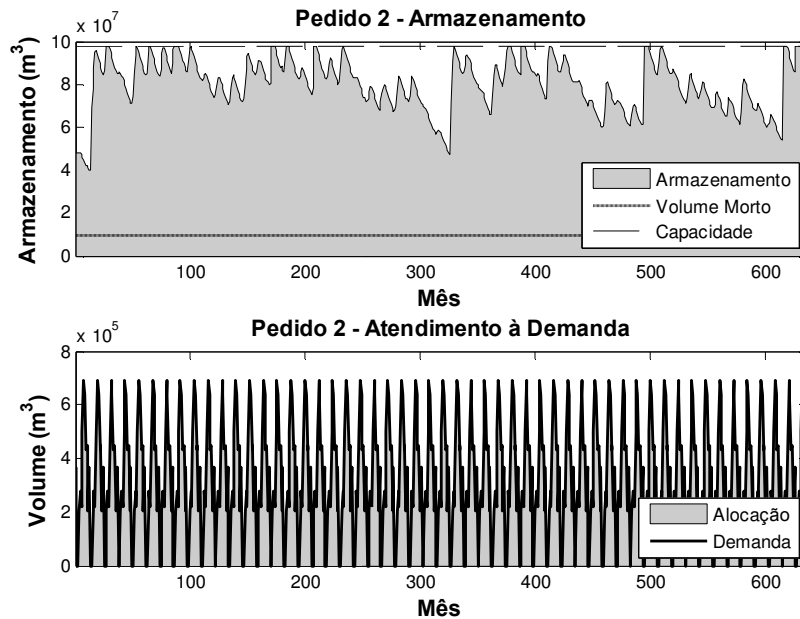
**Figura 8.112** – Comportamento do Reservatório Cachoeira do Alves, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura no ano 2017.

O estudo do atendimento às demandas outorgadas e do volume armazenado no ano de 2017, para o reservatório Saco de Nova Olinda, é mostrado nas Figuras 8.113, 8.114, 8.115 e 8.116. Se no cenário de demanda hídrica atual, as quatro demandas destinadas a abastecimento, irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro Gravatá, e piscicultura foram atendidas com garantia de 100%, no cenário de demanda hídrica futura, o acréscimo de  $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$  na demanda prioritária (cerca de 23%) não reduz o quadro de garantias dos pedidos de outorga no reservatório, permanecendo todas as demanda sem falhas de atendimento.

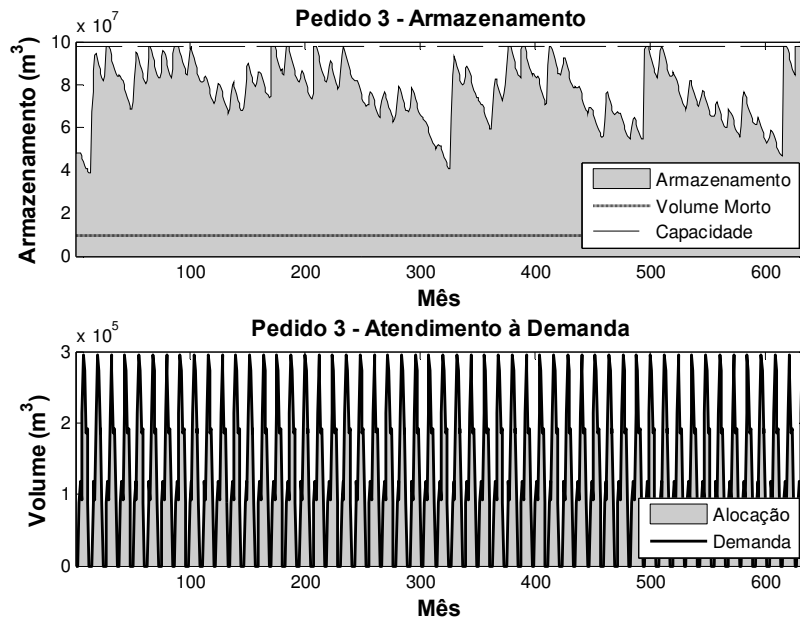
O fato de o reservatório Saco de Nova Olinda ter uma capacidade de  $97,48 \text{ hm}^3$  e bons afluxos contribuíram para o atendimento, com sucesso, das demandas requeridas, mesmo considerando um horizonte de 10 anos.



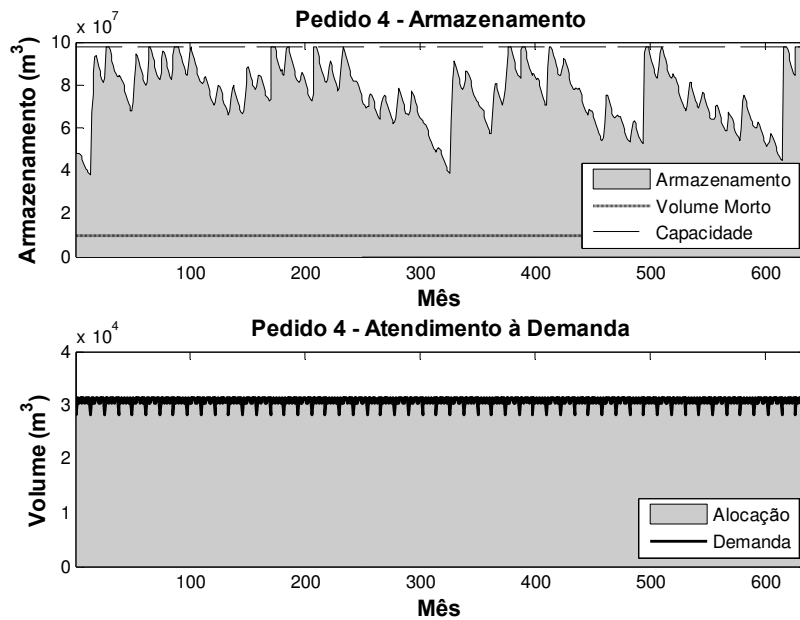
**Figura 8.113** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.



**Figura 8.114** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravata no ano 2017.



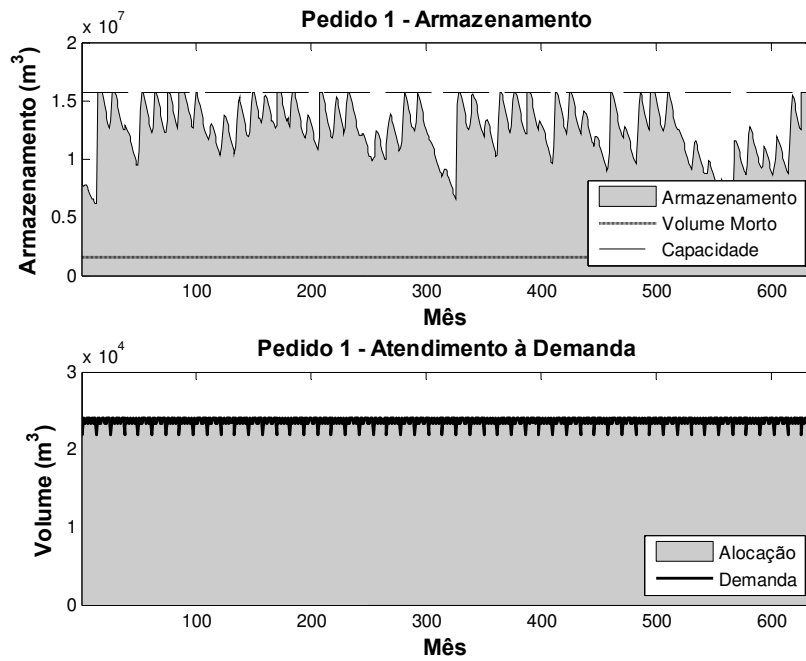
**Figura 8.115** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Gravatá no ano 2017.



**Figura 8.116** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura no ano 2017.

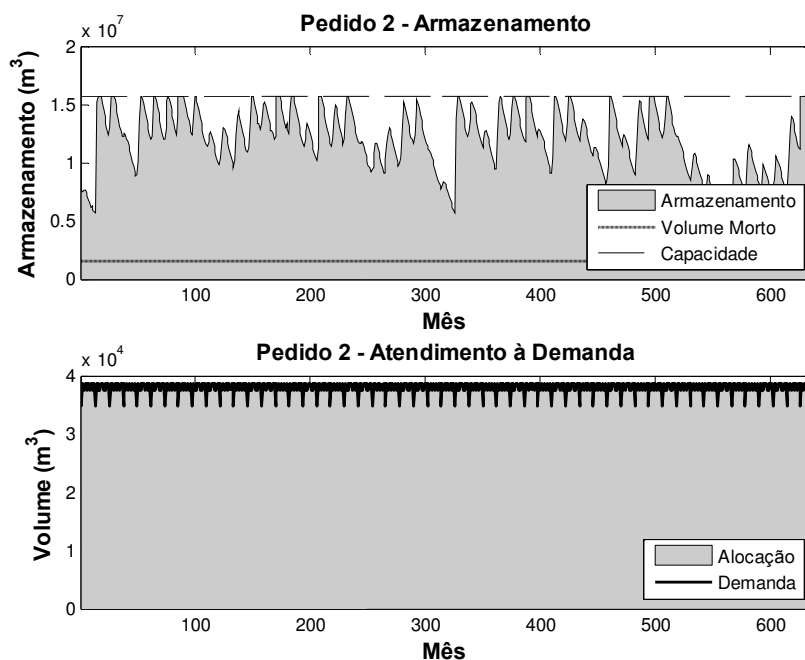
As Figuras 8.117 e 8.118 apresentam o comportamento do reservatório Queimadas, para o horizonte 2017, quando consideradas as demandas de abastecimento e piscicultura, respectivamente. Apesar do incremento de vazão para abastecimento neste reservatório, as demandas são atendidas sem falhas, semelhante ao observado no cenário de demanda hídrica atual.

Logo, em um quadro geral, pode-se concluir que a maioria dos reservatórios analisados neste grupo encontram-se aptos a atender os acréscimos de demanda futura dentro de um horizonte de 10 anos. Exceção é feita apenas ao Reservatório de Cachoeira dos Alves, que, mesmo no cenário atual, já apresenta problemas de atendimento às demandas.



**Figura 8.117** – Comportamento do Reservatório Queimadas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2017.





**Figura 8.118** – Comportamento do Reservatório Queimadas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura no ano 2017.

#### 8.1.2.1.4 RESERVATÓRIOS DESTINADOS A USOS PRIORITÁRIOS E NÃO PRIORITÁRIOS (ABASTECIMENTO E OUTROS USOS) – ANO 2027

Os tipos de demandas e suas garantias de atendimento, projetadas para o ano 2027, para os reservatórios destinados a usos prioritários e não prioritários são mostrados na Tabela 8.14. Igualmente ao cenário proposto para o ano 2017, neste cenário foram estudados os pedidos de outorga dos reservatórios cujas demandas são: abastecimento, irrigação e piscicultura considerando as mesmas condições anteriormente descritas (demandas de abastecimento projetadas para o ano 2027, demandas de irrigação e pisciculturas mantidas constantes e a capacidade máxima -  $62,75 \text{ hm}^3$  - do reservatório Poço Redondo).

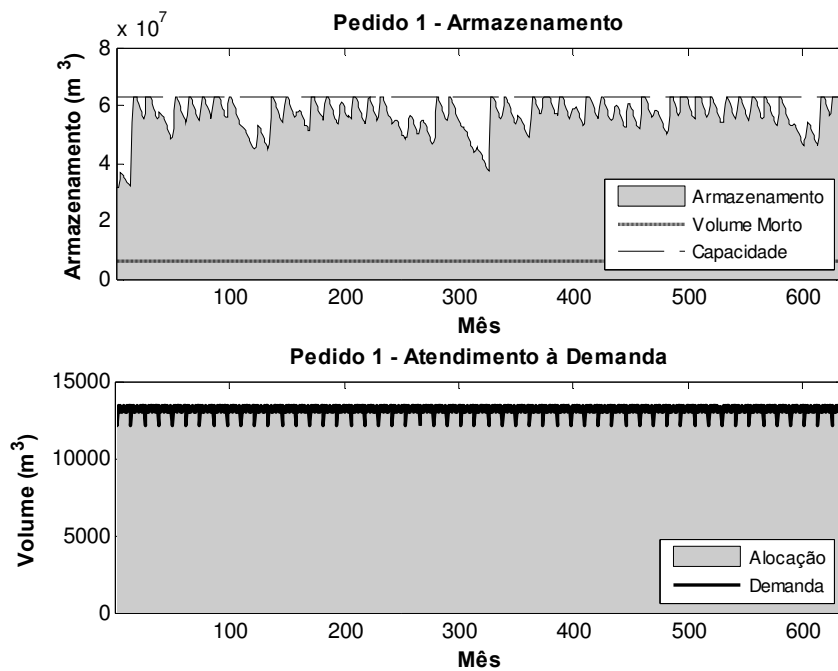
A demanda de abastecimento, bem como as demais demandas ligadas ao reservatório Frutuoso II não apresentaram alterações, mantendo-se constantes em relação ao cenário de demanda hídrica atual. Portanto, não será necessário analisar esse reservatório neste sub-cenário. Já o reservatório Cachoeira dos Cegos, que não foi considerado para o ano de 2017, por manter suas demandas constantes em relação ao cenário de demanda hídrica atual, agora fará parte da análise.

**Tabela 8.14** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios destinados a abastecimento e outros usos para o ano de 2027

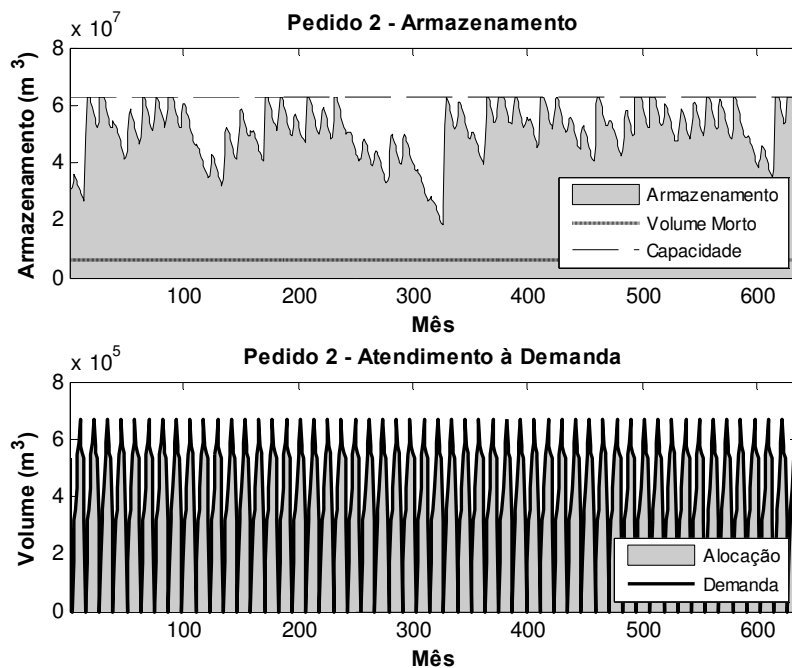
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Poço Redondo	1	Abastecimento	0,0050	100
	2	Irrigação P.Redondo (Perene)	0,1598	100
	3	Irrigação P.Redondo (Sazonal)	0,0614	100
Bruscas	1	Abastecimento	0,0060	100
	2	Irrigação Bruscas (Perene)	0,1438	100
	3	Irrigação Bruscas (Sazonal)	0,0564	100
	4	Irrigação Difusa	0,0011	100
Cach. dos Alves	1	Abastecimento	0,0640	96,07
	2	Piscicultura	0,0172	80,97
Saco de N. Olinda	1	Abastecimento	0,0110	100
	2	Irrigação Gravatá (Perene)	0,1255	100
	3	Irrigação Gravatá (Sazonal)	0,0489	100
	4	Piscicultura	0,0117	100
Queimadas	1	Abastecimento	0,0130	100
	2	Piscicultura	0,0144	100
Cach. dos Cegos	1	Abastecimento	0,0050	100
	2	Irrigação Difusa	0,0039	100
	3	Irrigação Difusa	0,0022	100
	4	Irrigação Difusa	0,0058	100

Segundo os dados observados na Tabela 8.14, nota-se que as garantias de atendimento de todas as demandas dos reservatórios no ano de 2027 são, assim como para o ano 2017, atendidas em 100% dos meses analisados, exceto o reservatório Cachoeira dos Alves, que, apesar de apresentar algumas falhas, ainda possui uma garantia bastante elevada para a demanda de abastecimento (96,07%). Esse mesmo reservatório não consegue atender à demanda de piscicultura com garantia acima de 90%. No entanto, apesar do incremento na demanda de abastecimento comprometer a demanda de piscicultura, essa deficiência já existe desde o cenário atual. As Figuras 8.119 a 8.137, a seguir, mostram o comportamento dos reservatórios à medida que as demandas são atendidas, e o registro das falhas de atendimento dessas demandas, quando houver.

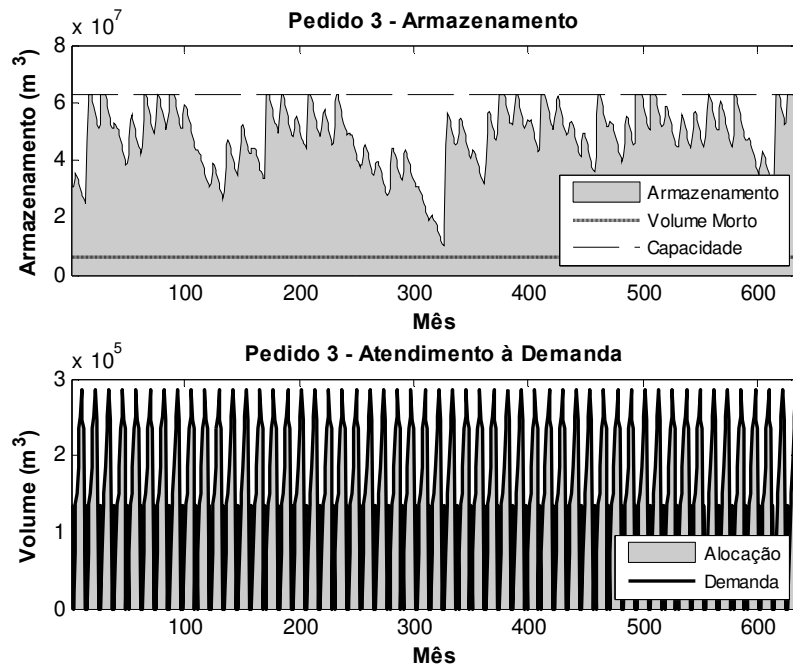
O reservatório Poço Redondo apresenta, para o ano de 2027, apenas uma discreta redução dos volumes armazenados, tanto na primeira demanda (abastecimento), cujos dados constam na Figura 8.119, quanto nas demandas de irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro Poço Redondo (Figuras 8.120 e 8.121), em relação ao ano 2017, devido ao aumento da vazão disponibilizada para abastecimento.



**Figura 8.119** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.

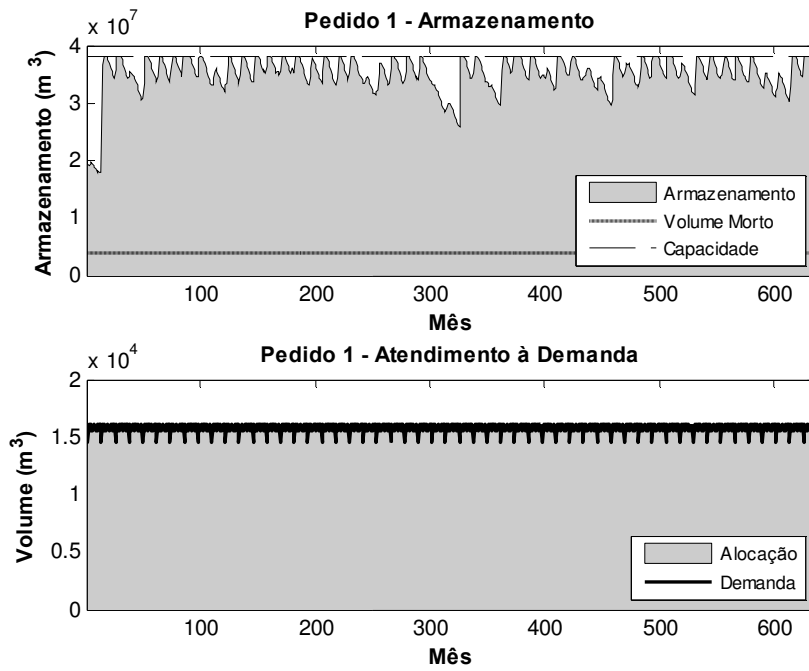


**Figura 8.120** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Poço Redondo no ano 2027.

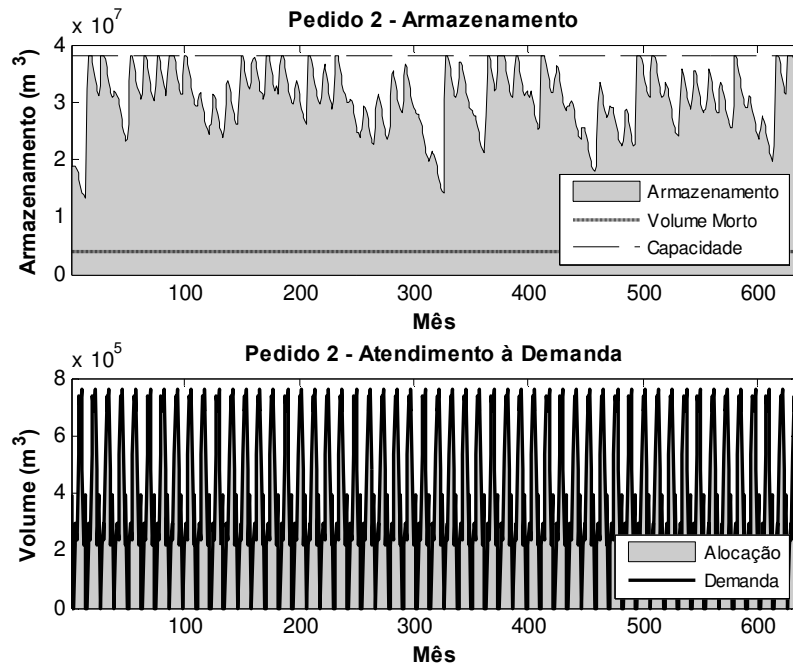


**Figura 8.121** – Comportamento do Reservatório Poço Redondo, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Poço Redondo no ano 2027.

Apenas uma pequena redução do volume armazenado também é observada no reservatório Bruscas, quando do atendimento às demandas de abastecimento (Figura 8.122), irrigação de culturas perenes e sazonais (Figuras 8.123 e 8.124, respectivamente) e irrigação difusa (Figura 8.125).



**Figura 8.122** – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



**Figura 8.123** – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Bruscas no ano 2027.

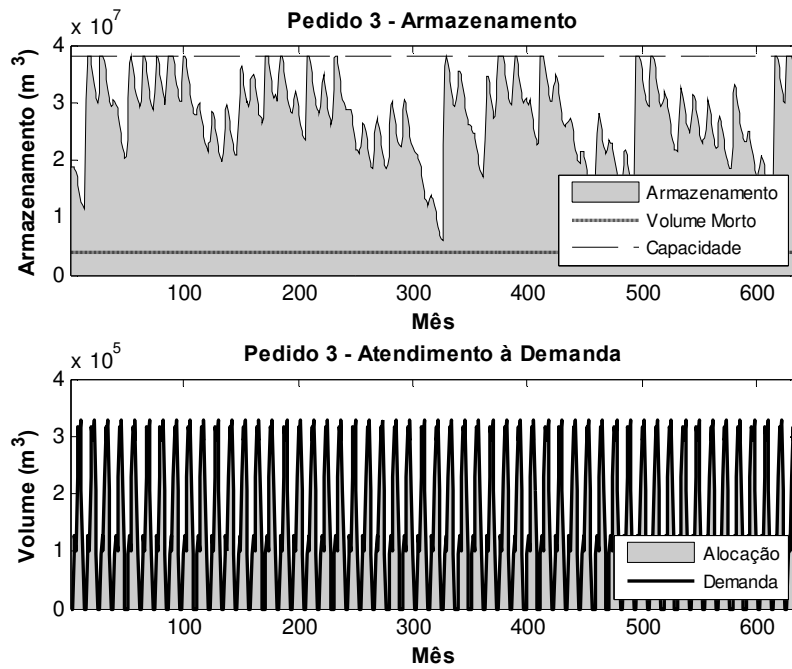


Figura 8.124 – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Bruscas no ano 2027.

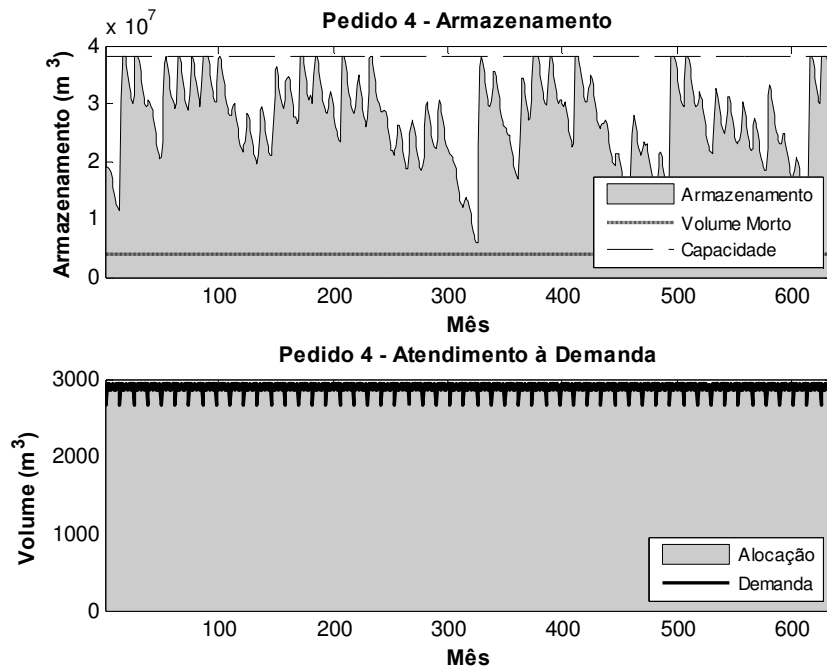
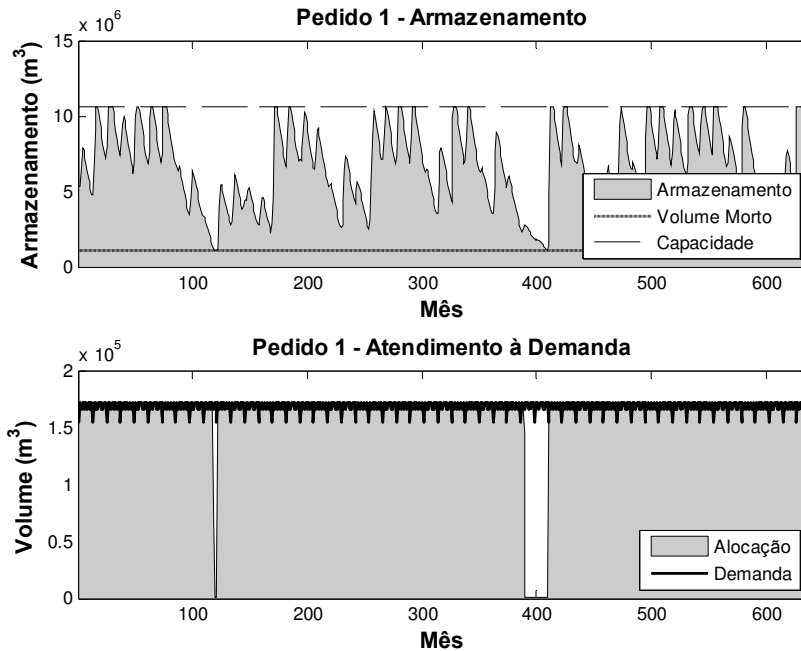
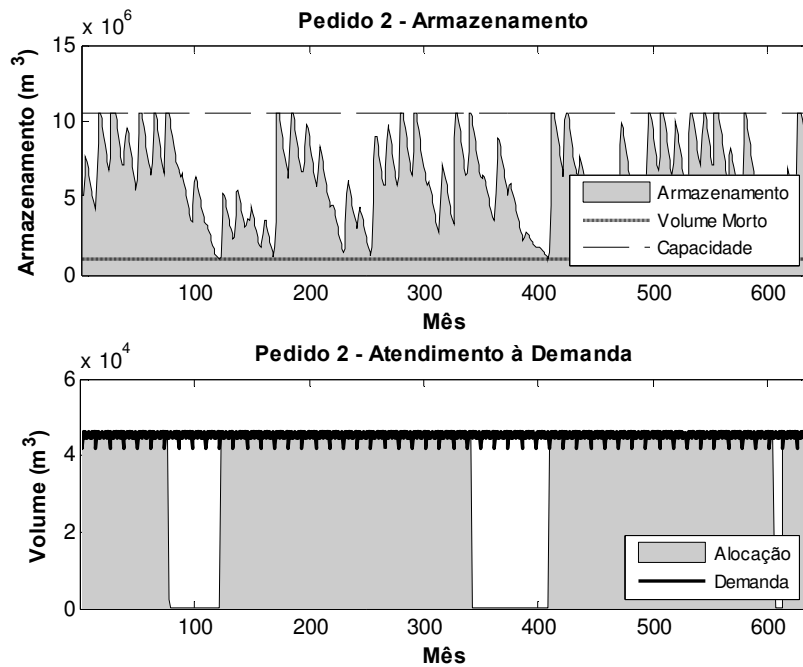


Figura 8.125 – Comportamento do Reservatório Bruscas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação difusa no ano 2027.

As Figuras 8.126 e 8.127 mostram o comportamento do reservatório Cachoeira dos Alves e o atendimento às demandas de abastecimento e piscicultura, respectivamente. De acordo com o exposto na Figura 8.126, ocorre, para a demanda de abastecimento, uma redução de 1,41% (de 97,48% para 96,07%) na garantia de atendimento, com relação ao cenário apresentado no ano 2017, e uma redução de 1,93% (de 98% para 96,07%), em relação ao cenário de demanda hídrica atual. Já na demanda de piscicultura, mostrada na Figura 8.127, a queda de garantia foi de 2,05% (de 83,02% para 80,97%), com relação ao cenário apresentado no ano 2017 e 5,7% (de 86,67% para 80,97%), com relação ao cenário de demanda hídrica atual.



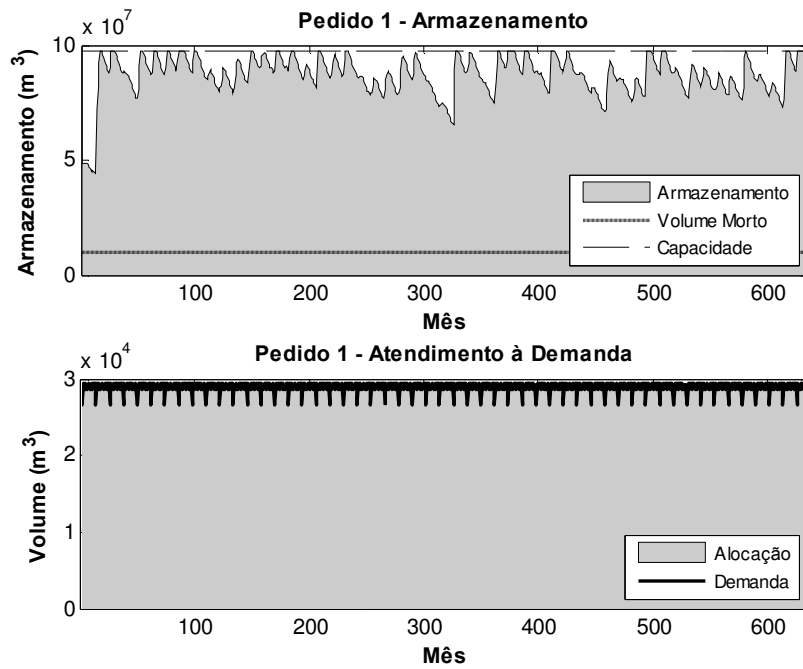
**Figura 8.126** – Comportamento do Reservatório Cachoeira do Alves, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



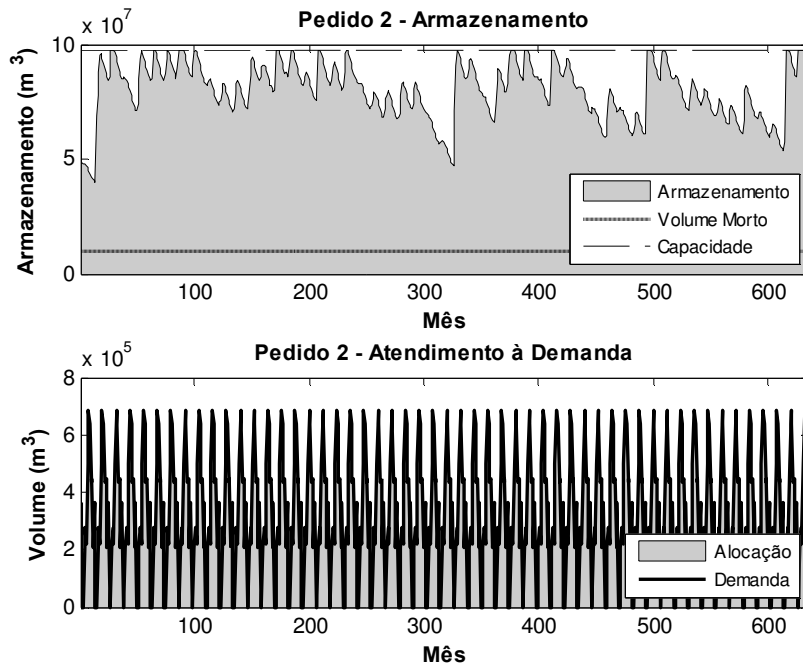
**Figura 8.127** – Comportamento do Reservatório Cachoeira do Alves, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura no ano 2027.

Os demais reservatórios (Saco de nova Olinda, Queimadas e Cachoeira dos Cegos), igualmente a Poço Redondo e Bruscas, apresentam uma pequena redução dos volumes de água armazenados, quando do atendimento de todas as demandas projetadas para o ano 2017, devido ao aumento na vazão disponibilizada para abastecimento. Porém, mesmo com essa redução, o atendimento às demandas de abastecimento, irrigação (culturas perenes e sazonais do perímetro de Gravatá) e piscicultura do reservatório de Saco de Nova Olinda (Figuras 8.128, 8.129, 8.130 e 8.131); as demandas de abastecimento e piscicultura do reservatório de Queimadas (Figuras 8.132 e 8.133); e as demandas de abastecimento e irrigação difusa do reservatório de Cachoeira dos Cegos (Figuras 8.134, 8.135, 8.136 e 8.137) permanecem sem falhas, ou seja, com nível de garantia de 100%.

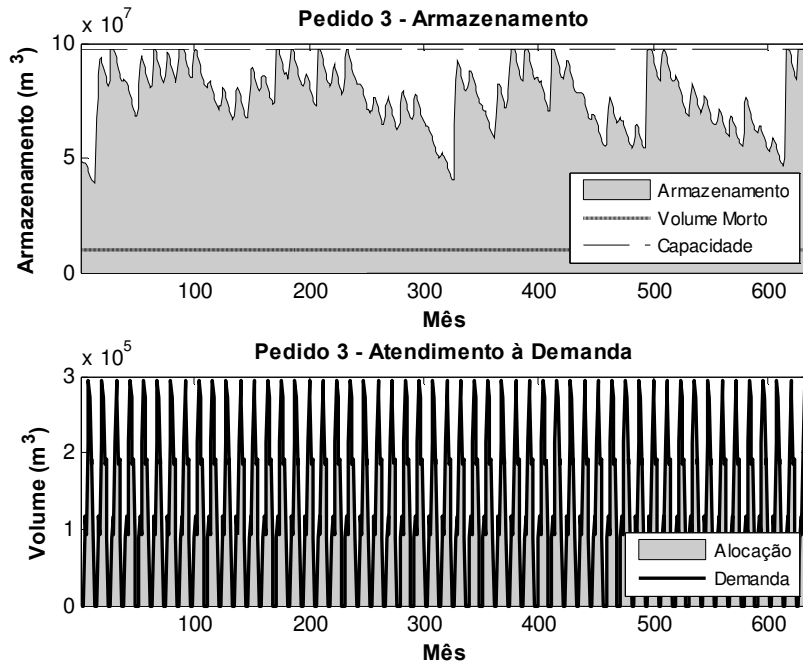




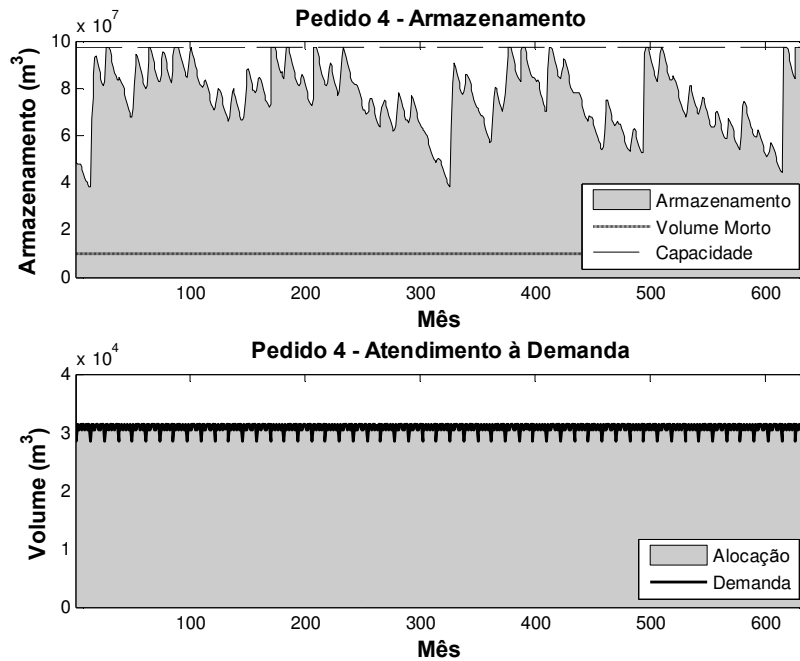
**Figura 8.128** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



**Figura 8.129** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá no ano 2027.



**Figura 8.130** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Gravatá no ano 2027.



**Figura 8.131** – Comportamento do Reservatório Saco de Nova Olinda, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura no ano 2027.

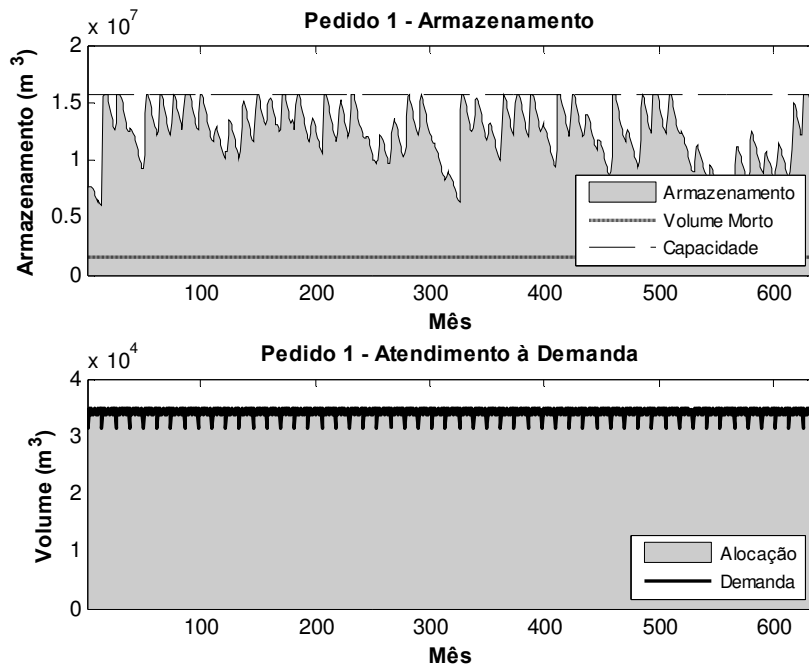


Figura 8.132 – Comportamento do Reservatório Queimadas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.

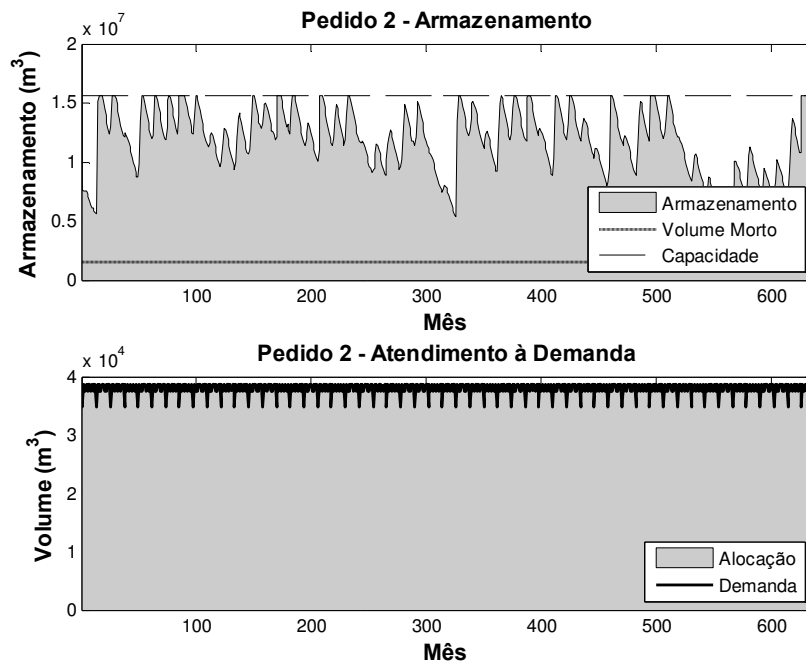
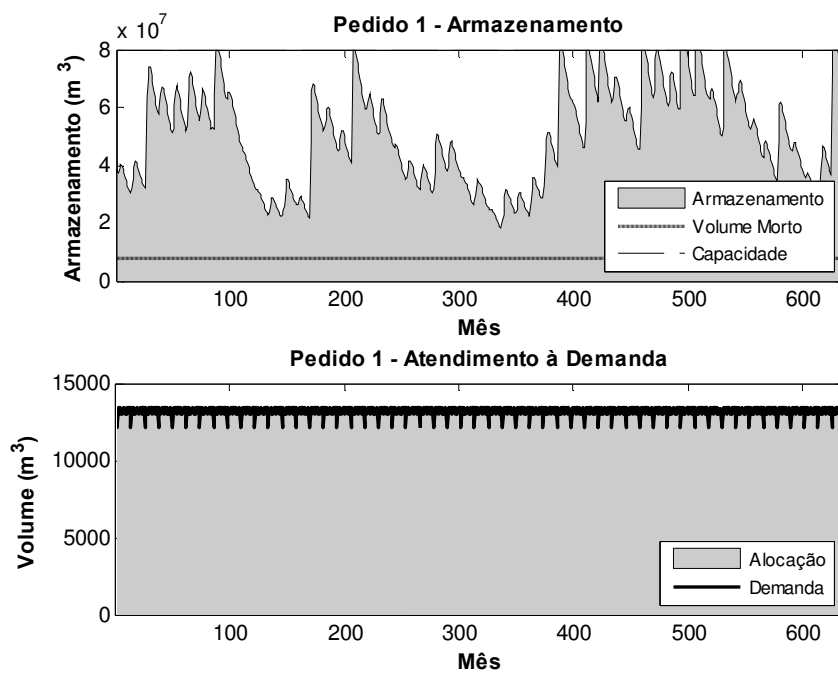
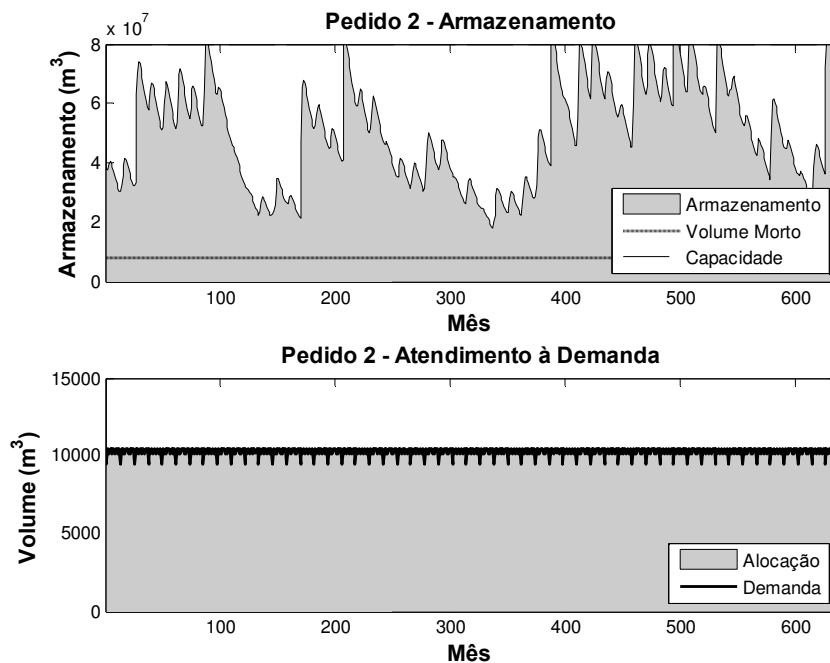


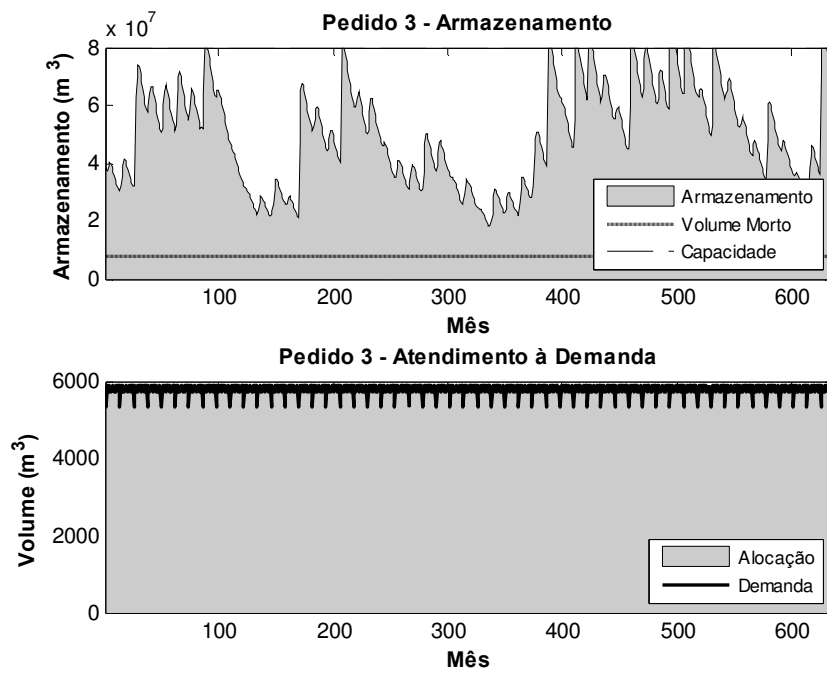
Figura 8.133 – Comportamento do Reservatório Queimadas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura no ano 2027.



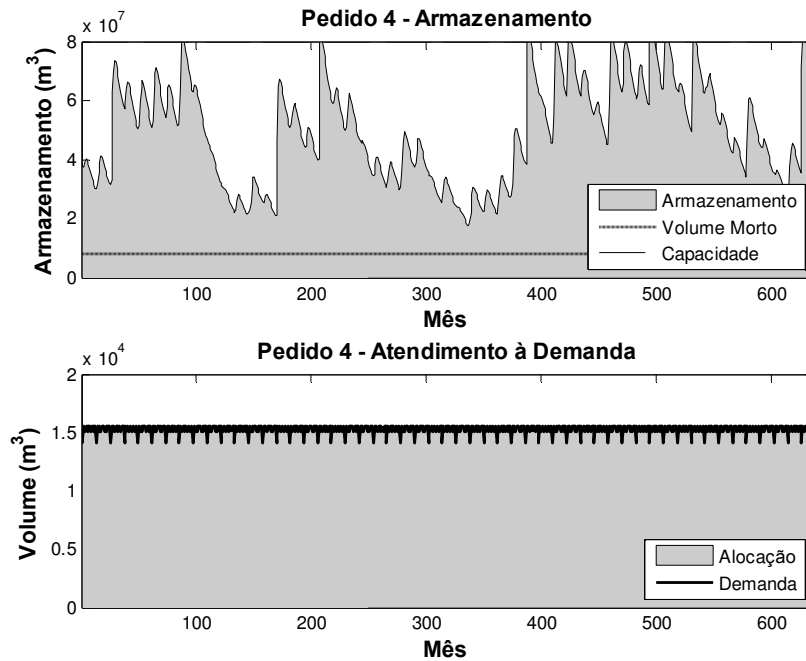
**Figura 8.134** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento no ano 2027.



**Figura 8.135** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 1) no ano 2027.



**Figura 8.136** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 2) no ano 2027.



**Figura 8.137** – Comportamento do Reservatório Cachoeira dos Cegos, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação difusa (pedido 3) no ano 2027.

#### 8.1.2.1.5 RESERVATÓRIOS DESTINADOS A USOS NÃO PRIORITÁRIOS (OUTROS USOS) - ANO 2017

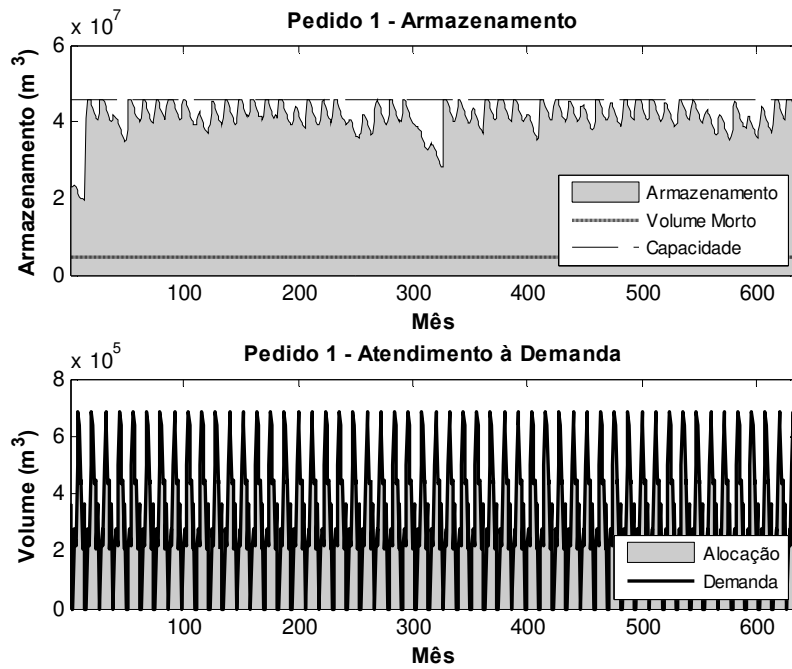
Dos reservatórios Condado, Vazante, Vídeo, Canoas e Timbaúba, destinados a usos não prioritários, apenas o reservatório Canoas apresentou modificações em relação ao cenário de demanda atual, sendo, portanto, realizadas novas otimizações dos processos de outorga somente com esse reservatório. O reservatório Canoas, que, no cenário de demanda hídrica atual, foi considerado com seu volume atual (10 hm<sup>3</sup>), será analisado neste cenário como se estivesse sido concluído, ou seja, com um volume de 45,55 hm<sup>3</sup>. Como houve alteração apenas na capacidade do reservatório, não será necessário fazer a análise de Canoas para o ano 2027 uma vez que, também para o ano de 2027, seria considerada a capacidade máxima do reservatório. As demandas médias e as respectivas garantias de atendimento do reservatório Canoas para o ano 2017 estão apresentadas na Tabela 8.15.

**Tabela 8.15** – Demandas médias e garantia de atendimento do reservatório Canoas para o ano 2017

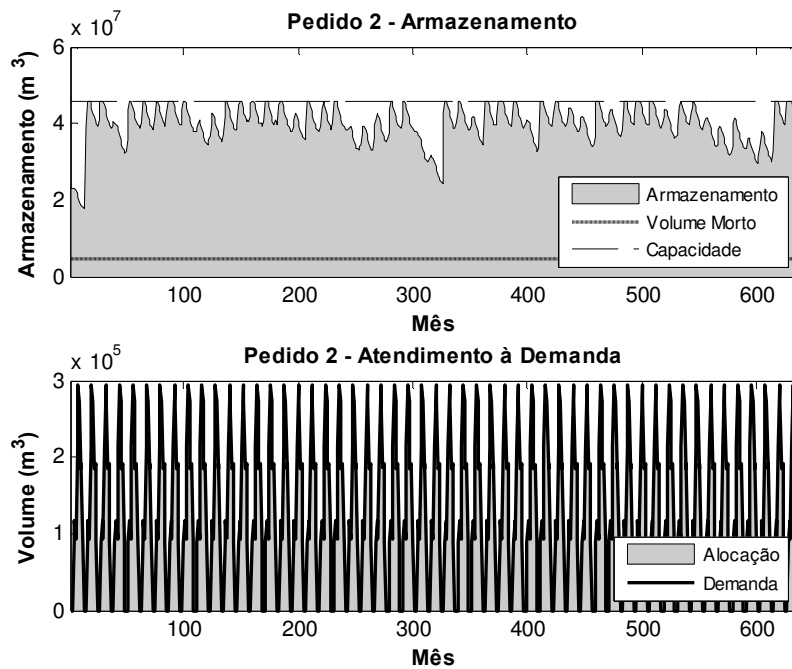
Reservatório	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Canoas	1	Irrigação Gravatá (Perene)	0,1255	100
	2	Irrigação Gravatá (Sazonal)	0,0489	100
	3	Piscicultura	0,0120	100

De acordo com a tabela, o reservatório atende, em 100% dos meses, do período de tempo analisado, às demandas de irrigação (culturas perenes e sazonais) e piscicultura. Quando confrontados esses valores com os resultados obtidos para o reservatório, com volume de 10 hm<sup>3</sup> (cenário de demanda hídrica atual), nota-se um aumento de garantia para todos os pedidos de outorga, devido ao aumento da capacidade de acumulação do reservatório. Logo, quando concluído, ou seja, com volume de 45,55 hm<sup>3</sup>, o reservatório Canoas poderá atender melhor as demandas a ele associadas e, possivelmente, novas demandas.

As Figuras 8.138 a 8.140 ilustram o armazenamento e o atendimento às demandas do reservatório Canoas.

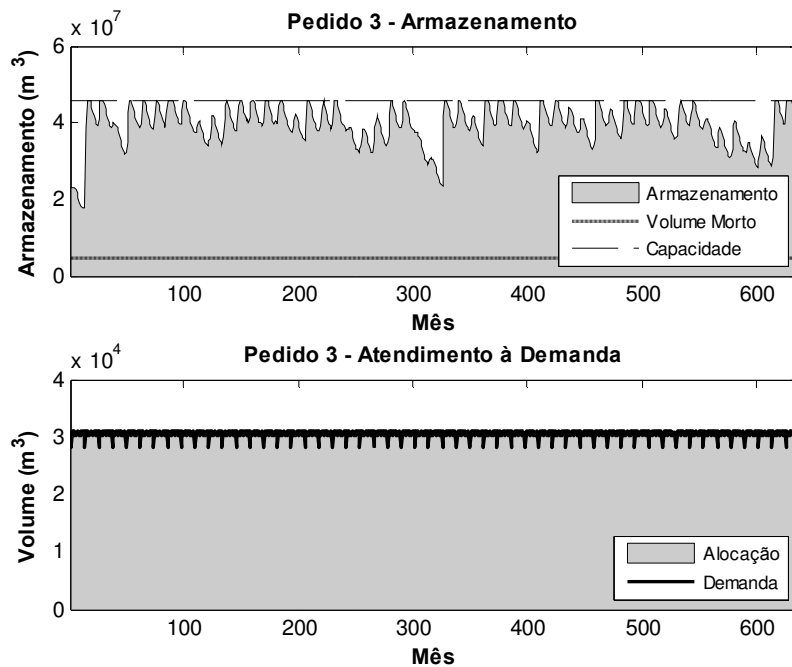


**Figura 8.138** – Comportamento do Reservatório Canoas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes no perímetro de Gravatá no ano 2017.



**Figura 8.139** – Comportamento do Reservatório Canoas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais no perímetro de Gravatá no ano 2017.

Segundo a Figura 8.138, o volume armazenado ao longo do tempo é pouco afetado, quando efetuadas retiradas para atender a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Gravatá. Este ainda mantém reservas suficientes para o atendimento à segunda demanda, a irrigação de culturas sazonais (Figura 8.139), e à demanda de piscicultura (Figura 8.140). Em relação ao cenário de demanda atual para o futuro, a garantia de atendimento aumentou de 0,16%, 3,93% e de 5,19% para os pedidos de outorga 1 (abastecimento), 2 (irrigação) e 3 (piscicultura), respectivamente. Portanto, após sua conclusão, o reservatório poderá garantir em 100% das vezes o atendimento as suas demandas.



**Figura 8.140** – Comportamento do Reservatório Canoas, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura ano 2017.

### 8.1.3 DEMANDAS COM GERENCIAMENTO ALTERNATIVO

A última avaliação feita para o cenário de demanda hídrica atual incorpora a hipótese de um gerenciamento alternativo, considerando um acréscimo de 10 m<sup>3</sup>/s ao sistema Coremas-Mãe D'Água, conseguido através da transposição do Rio São Francisco.

Para essa abordagem, considerou-se as mesmas condições iniciais de volumes já utilizadas nas análises anteriores (ver item 8.1.1.2), e as demandas atuais, tanto de montante



(perímetros Piancó II e III e Piancó-Brotas) quanto diretamente ligadas ao sistema e a jusante, seguindo a ordem de prioridade estabelecida na análise (ii) do item (8.1.1.2.2)..

### 8.1.3.1 DEMANDAS A MONTANTE DO SISTEMA COREMAS MÃE D'ÁGUA

A Tabela 8.16 mostra os pedidos de outorga referentes as demandas médias dos perímetros irrigados Piancó II, III e Pianco-Brotas que, como já explicado anteriormente, apesar de não serem demandas do sistema, atendê-las altera as demandas do sistema e de jusante.

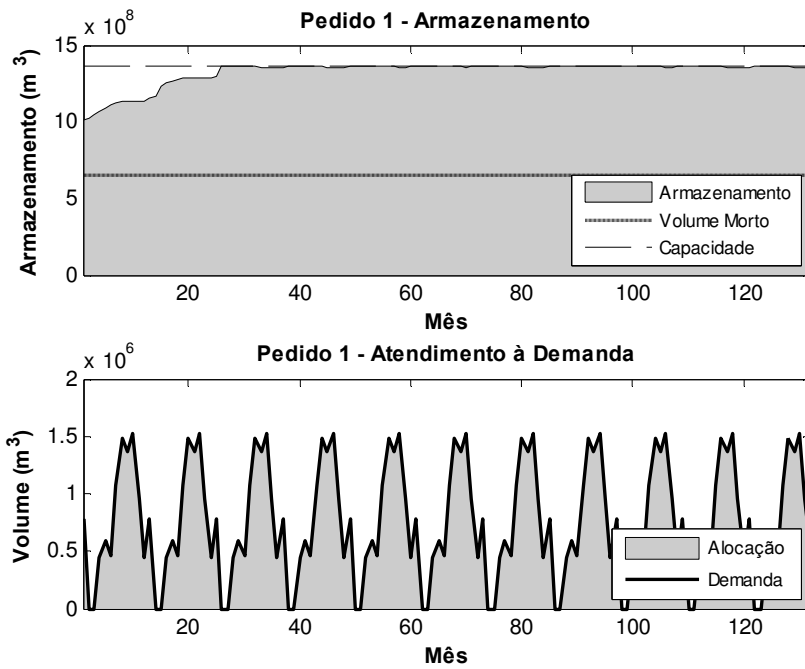
Segundo os dados observados na tabela, nenhuma mudança ocorre no atendimento às demandas dos perímetros porque elas já haviam sido totalmente atendidas, mesmo desconsiderando a transposição.

**Tabela 8.16** – Demandas médias e garantia de atendimento após a transposição

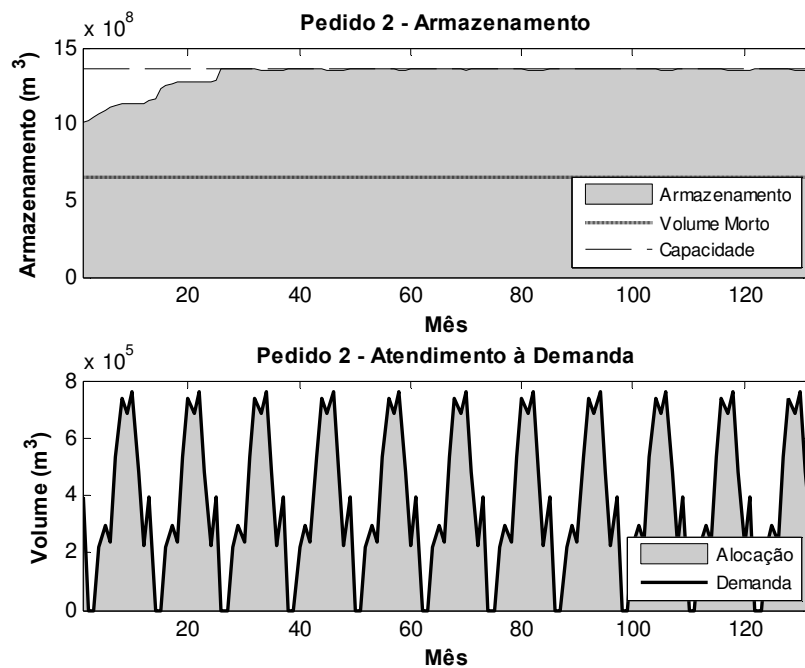
Reservatório	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)	
	Localização	Finalidade		Com transposição	Sem Transposição
Coremas-Mãe D'Água	Montante	Irrigação Piancó III (Perene)	0,2875	100	100
		Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Perene)	0,1438	100	100
		Irrigação Perímetro Piancó-Brotas (Sazonal)	0,0564	100	100
		Irrigação Piancó II (Sazonal)	0,2997	100	100
		Irrigação Piancó III (Sazonal)	0,1127	100	100

As Figuras 8.141 a 8.145 mostram o comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, após a transposição com relação ao volume armazenado e ao atendimento às demandas de montante.

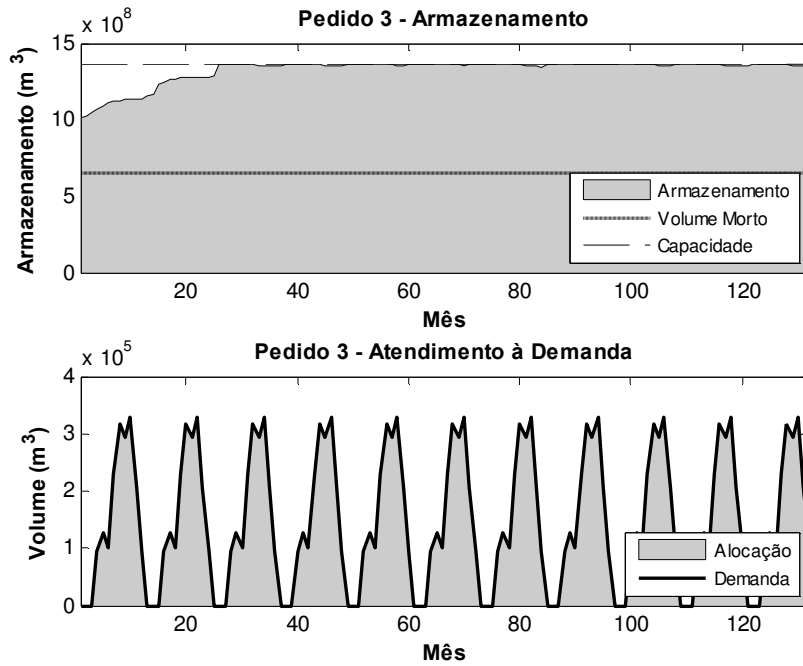
Com relação ao volume inicial, pode-se observar que o sistema começa com 50% da sua capacidade. No entanto, após algum tempo, atinge o volume máximo. Esse volume é mantido durante o atendimento de todas as demandas de montante (Figura 8.141 a 8.145), cujo atendimento ocorre com garantia de 100% em todo o período estudado. O atendimento as demandas é oscilante como mostrado nos gráficos das figuras por tratar-se de demandas de irrigação (variáveis). Apesar de oscilante, percebe-se nas figuras que toda área relativa ao atendimento é preenchida, ou seja, isenta de falhas.



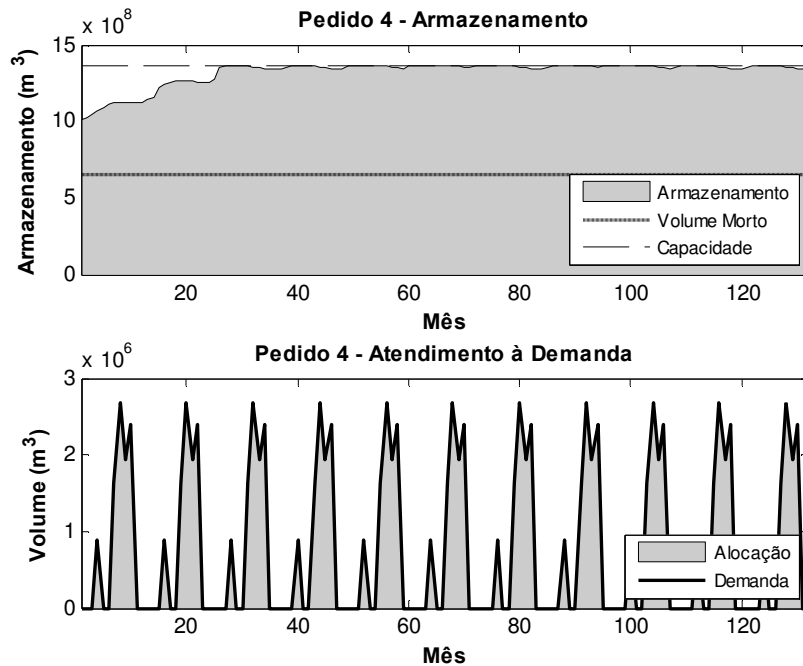
**Figura 8.141** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Piancó III após a transposição.



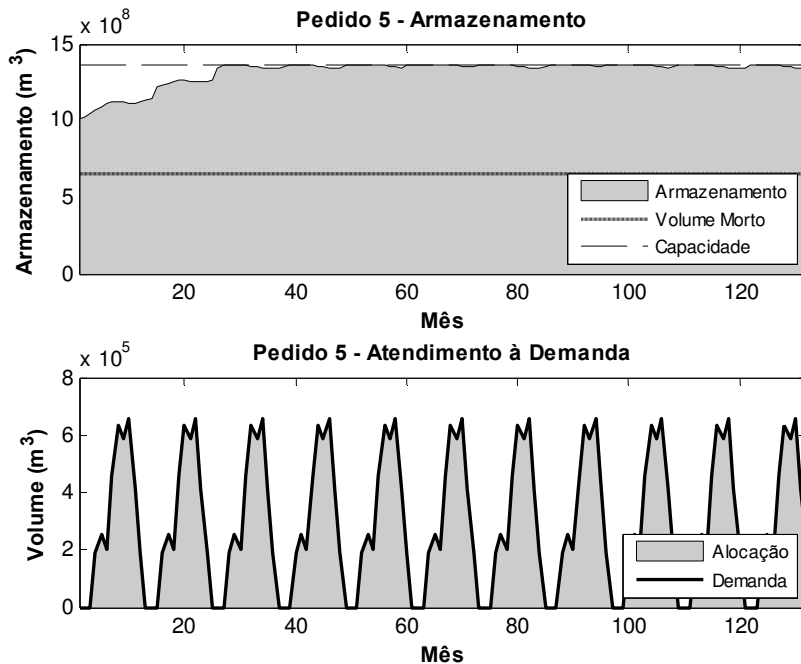
**Figura 8.142** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro Piancó-Brotas após a transposição.



**Figura 8.143** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Piancó-Brotas após a transposição.



**Figura 8.144** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Piancó II após a transposição.



**Figura 8.145** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de culturas sazonais do perímetro Piancó III após a transposição.

### 8.1.3.2 DEMANDAS DIRETAMENTE LIGADAS AO SISTEMA COREMAS-MÃE D’ÁGUA E A JUSANTE

As demandas de abastecimento, adutora, irrigação difusa, irrigação em perímetros, piscicultura e indústria, tanto diretamente ligadas ao sistema Coremas-Mãe D’Água quanto a jusante e suas respectivas garantias de atendimento, com e sem transposição, estão mostradas na Tabela 8.17.

Segundo a tabela, quando comparadas as garantias de atendimento, considerando o sistema sem a transposição e com a transposição, observa-se que, como a primeira demanda (abastecimento) já era garantida em 100% do tempo, não sofre alteração, permanecendo com o mesmo percentual, visto que houve acréscimo de água no reservatório.

**Tabela 8.17** – Demandas diretamente ligadas ao sistema e garantia de atendimento após a transposição

Reservatório	Dados de outorga			Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)	
	Localização	Nº do pedido	Finalidade		Com transposição	Sem transposição
Coremas-Mãe D'Água	No sistema e a jusante	1	Abastecimento	0,010	100	100
		2	Abastecimento a jusante	1,548	100	95,45
		3	Adutoras	0,099	100	81,06
		4	Adutoras a jusante	0,971	100	81,06
		5	Irrigação difusa	0,096	100	81,06
		6	Irrigação difusa a jusante	2,739	100	54,54
		7	Irrigação em perímetros	5,875	100	13,63
		8	Irrigação em perímetros a jusante	1,000	100	12,88
		9	Piscicultura	0,013	100	12,88
		10	Piscicultura a jusante	0,045	100	12,88
		11	Indústria a jusante	0,004	100	12,88

As demandas restantes, que apresentaram falhas de atendimento, sem a transposição, após o acréscimo de vazão, são atendidas com garantias de 100%, representando um aumento percentual de 4,55% para a demanda de abastecimento a jusante; 18,94%, nas garantias de atendimento das demandas das adutoras ligadas ao sistema e a jusante, e na irrigação difusa; 45,46%, na demanda de irrigação difusa a jusante; 86,37%, na irrigação em perímetros; e 87,12%, nas demandas de irrigação em perímetros a jusante, piscicultura ligada ao sistema e a jusante, e indústria a jusante. Portanto, de acordo com as análises realizadas, pode-se concluir que as falhas de atendimento às demandas outorgadas do sistema Coremas-MãeD'Água seriam resolvidas, caso fosse realizada a transposição de 10 m<sup>3</sup>/s do Rio São Francisco até a Bacia do Piancó.

As Figuras 8.146 a 8.156 mostram também como o sistema se comportaria, em termos de volume acumulado, iniciando o período da análise com a transposição, e considerando as retiradas de água, ao longo do tempo, para atender as demandas diretamente ligadas a ele e a jusante.

Observando os pedidos de 1 a 5, referentes a abastecimento ligado ao sistema e a jusante, adutora ligada ao sistema, e jusante e irrigação difusa (Figuras 8.146, 8.147, 8.148, 8.149 e 8.150, respectivamente), nota-se que o volume armazenado permanece próximo ao máximo, mesmo após o atendimento às demandas, para a maioria dos meses do período estudado, sendo um pouco mais baixo apenas nos primeiros meses.

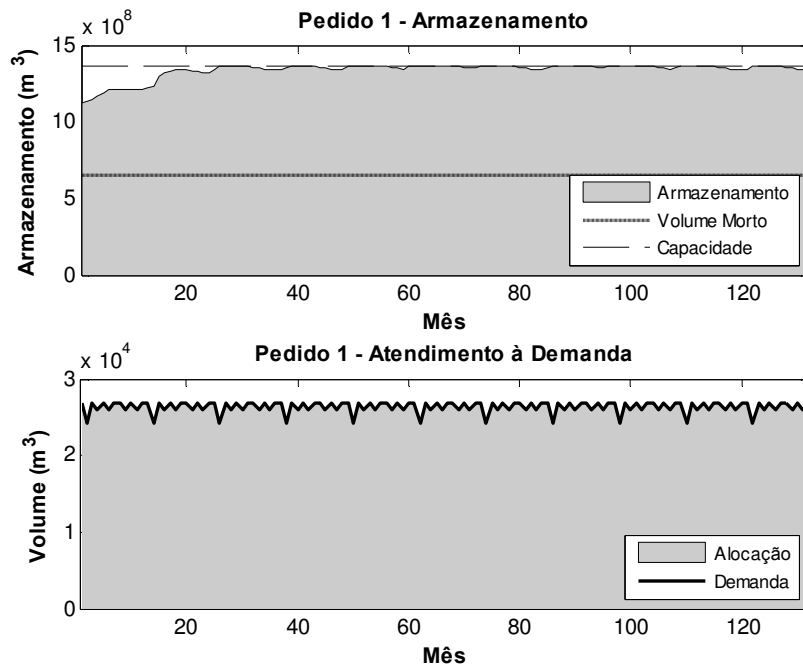


Figura 8.146 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento após a transposição.

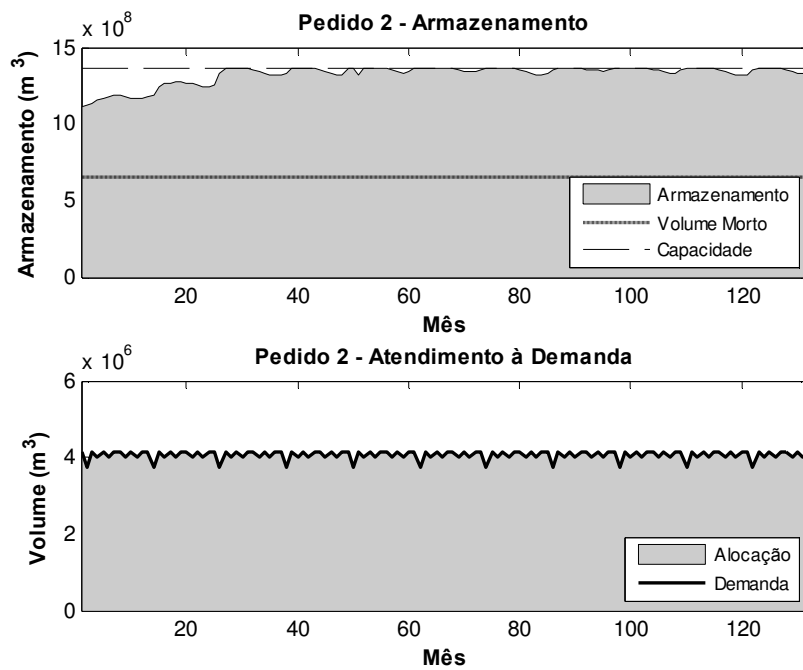


Figura 8.147 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda da adutora após a transposição.

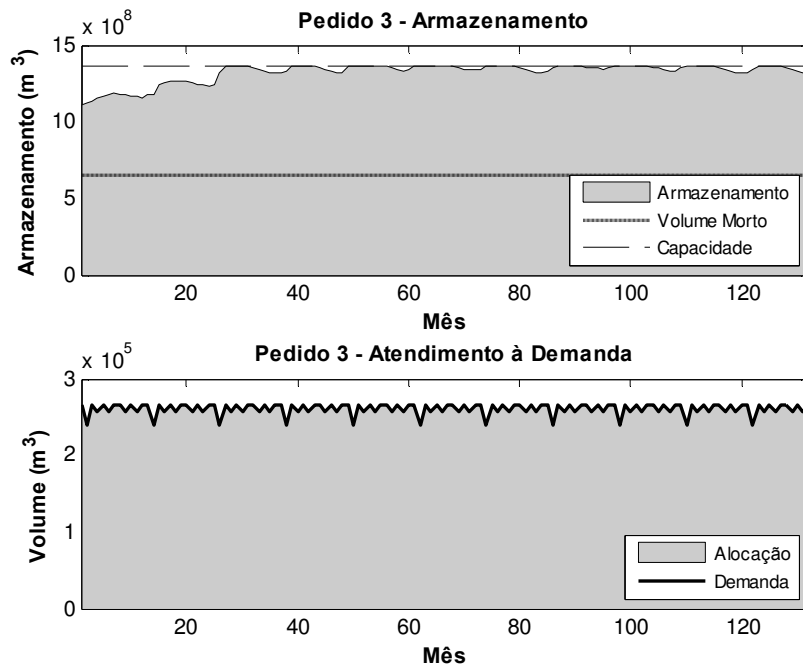


Figura 8.148 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda da irrigação difusa após a transposição.

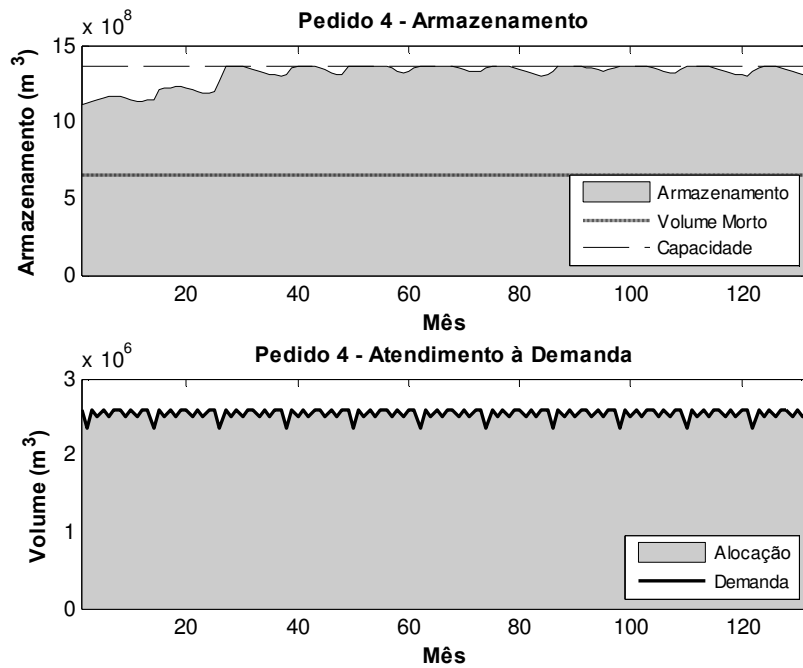
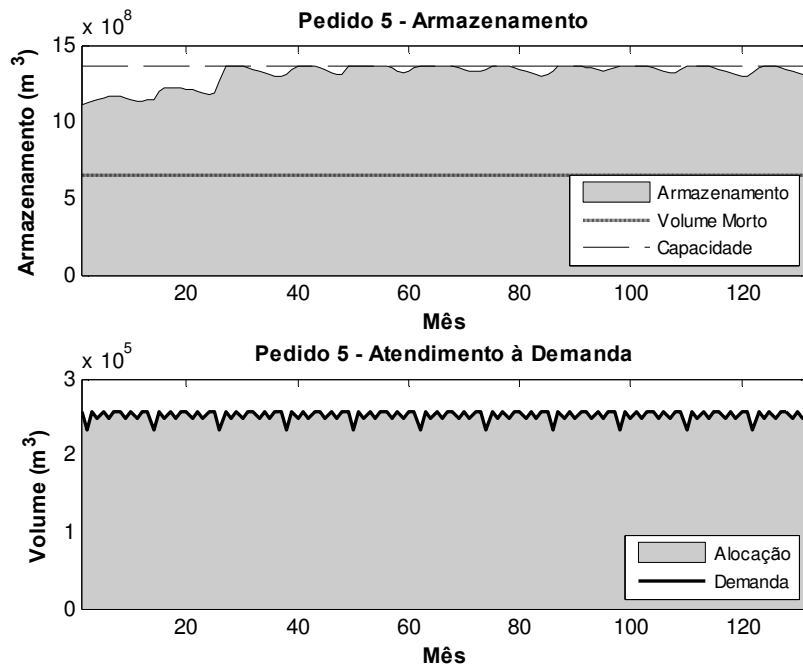


Figura 8.149 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo para atendimento à demanda da irrigação de perímetros após a transposição.



**Figura 8.150** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de piscicultura após a transposição.

Durante a retirada de vazão do pedido 6 (Figura 8.151), referente a irrigação difusa a jusante, o volume armazenado começa a diminuir. Essa diminuição fica mais acentuada com o atendimento à demanda de irrigação em perímetros (pedido 7), apresentado na Figura 8.152. Nesta demanda, está incluída a vazão de  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$  das Várzeas de Souza. Os pedidos 6 e 7 somados, geram uma vazão de  $8,614 \text{ m}^3/\text{s}$ , que representa 76% da vazão total das demandas ligadas ao sistema e a jusante, justificando a expressiva queda de volume armazenado.

Para os demais pedidos - 8, 9, 10 e 11 -, referentes às demandas de irrigação em perímetros a jusante, piscicultura ligada ao sistema e a jusante, e indústria a jusante (Figuras 8.153, 8.154, 8.155 e 8.156, respectivamente) percebe-se uma redução suave e gradativa do volume armazenado, à medida que as demandas vão sendo atendidas sem falhas, ou seja, com garantia em 100% do tempo.



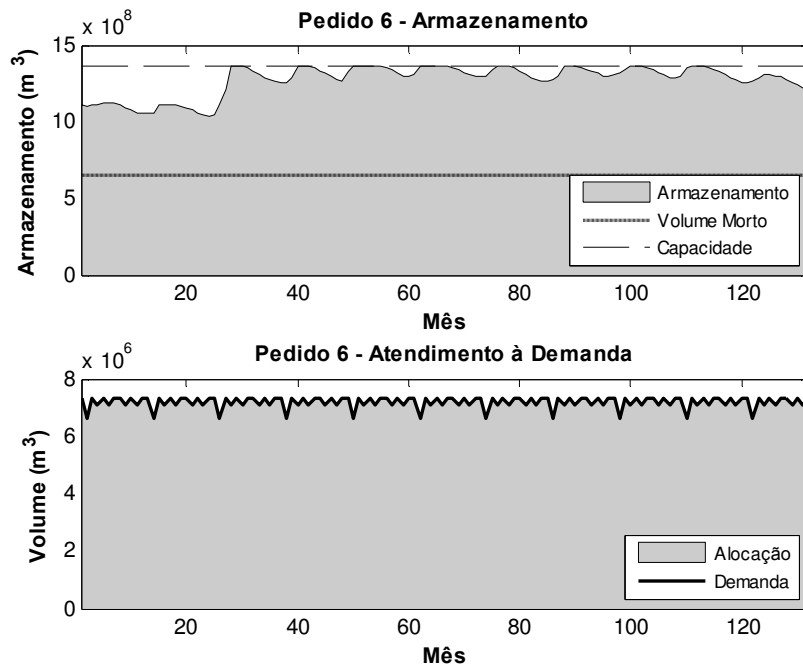


Figura 8.151 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de abastecimento de jusante após a transposição.

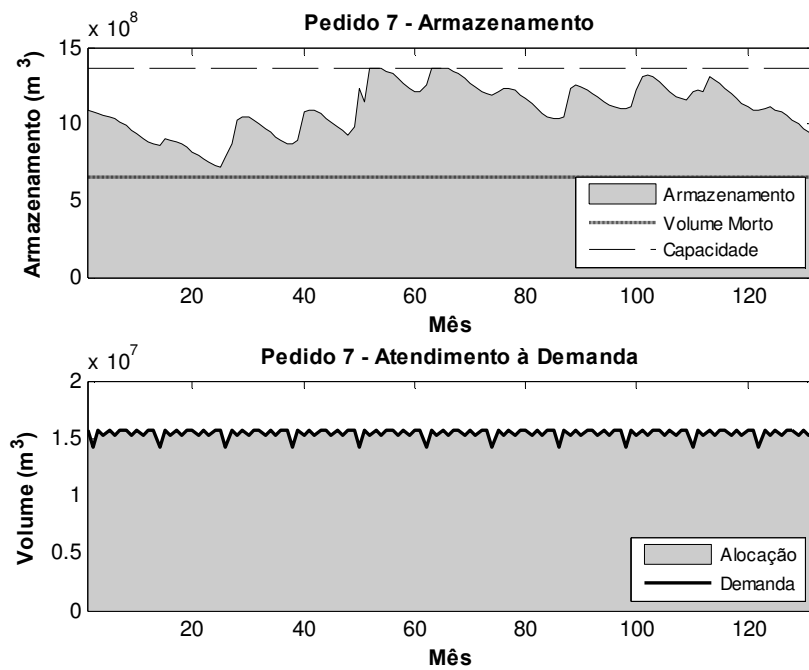


Figura 8.152 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda da adutora após a transposição.

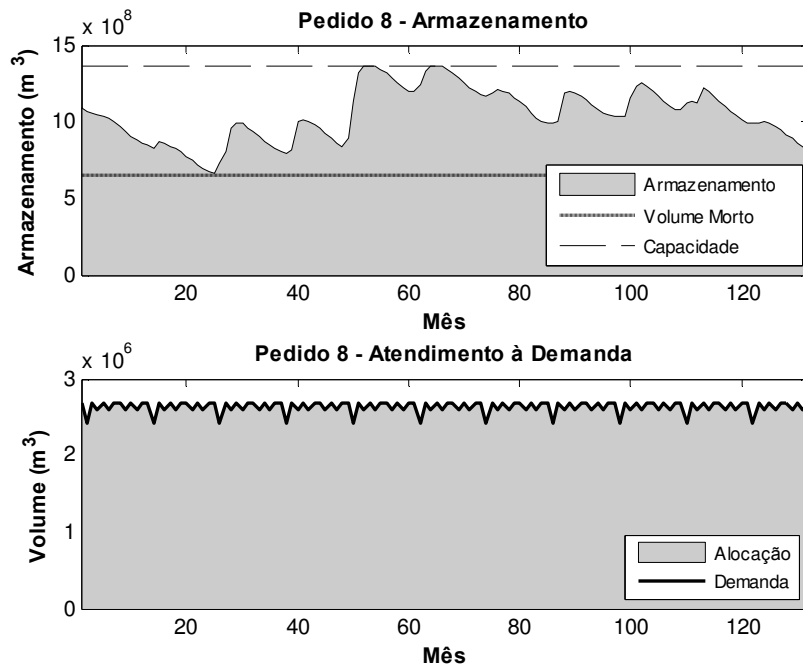


Figura 8.153 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação difusa a jusante após a transposição.

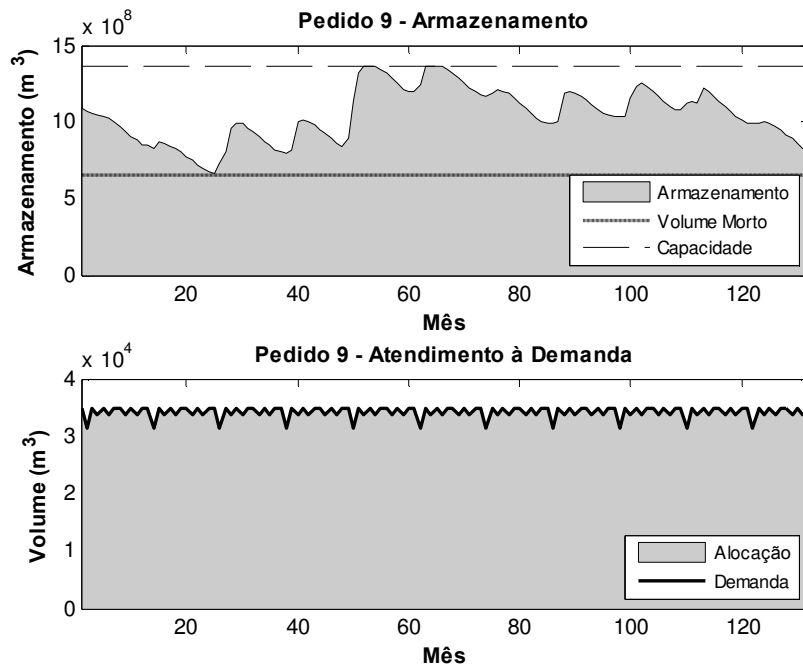
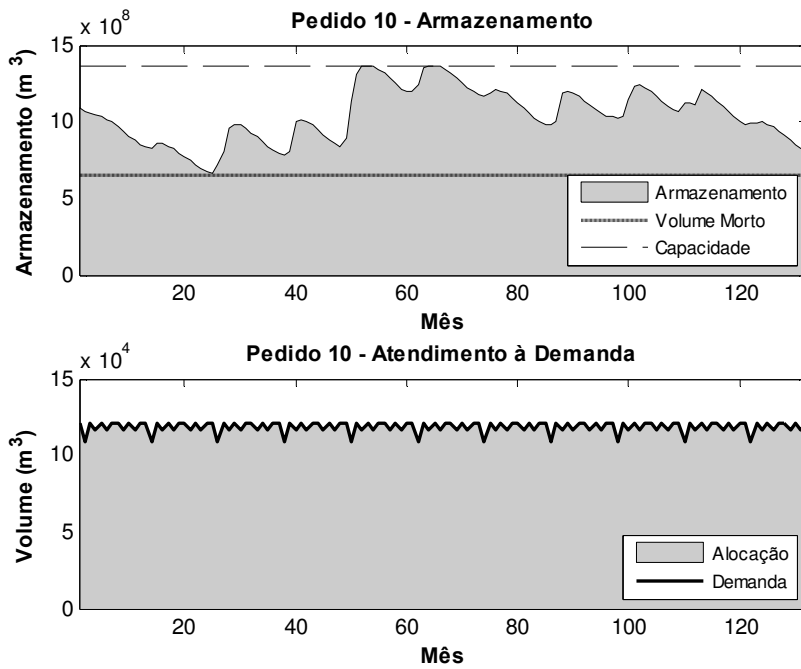
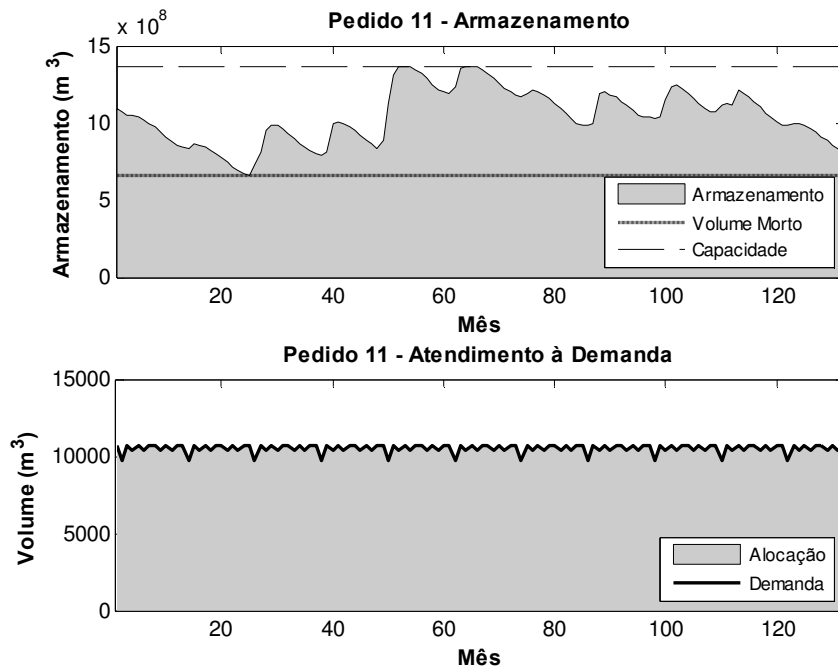


Figura 8.154 – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de irrigação de perímetros a jusante após a transposição.



**Figura 8.155** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda de indústria a jusante após a transposição.



**Figura 8.156** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D’Água, ao longo do tempo, para atendimento à demanda da piscicultura a jusante após a transposição.

Portanto, de acordo com a análise feita, uma adução de 10 m<sup>3</sup>/s do Rio São Francisco até a Bacia do Piancó, traria benefícios ao sistema, no tocante ao atendimento das demandas diretamente ligadas ao sistema, e que apresentaram falhas. Também no que se refere à sustentabilidade hídrica dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, haveria benefícios com a adução de águas daquele Rio.

O preenchimento das falhas de atendimento às demandas de irrigação, piscicultura e indústria geraria um maior desenvolvimento dessas atividades e, conseqüentemente, um aumento da economia local, promovendo a elevação na qualidade de vida da população e abrindo novos caminhos para o desenvolvimento de outras atividades produtivas.

## **8.2 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM SÉRIE (CDHRS)**

Como foi observado no estudo individualizado do comportamento dos reservatórios da Bacia do Rio Piancó no CDHRI, alguns deles apresentam problemas de atendimento às suas demandas. Esses problemas poderiam ser amenizados ou até mesmo resolvidos, se outros reservatórios com “sobras” de água cedessem parte dos seus excedentes para os reservatórios com falhas de atendimento.

Procedimentos desse tipo podem ser relativamente simples de executar, se a posição geográfica dos reservatórios envolvidos for favorável, ou seja, se o reservatório com crédito de água estiver em série e a montante do reservatório com déficit.

Este cenário denominado de Cenário de Demanda Hídrica com os Reservatórios em Série (CDHRS) analisa o comportamento dos reservatórios da Bacia do Rio Piancó, considerando a disponibilidade hídrica de cada um e a possibilidade de transferência de água, se quando estiverem ligados em série.

Foram analisados, neste cenário, os reservatórios de montante para jusante. Estudaram-se, primeiramente, os vinte e quatro reservatórios de montante do sistema; em seguida, foi analisado o sistema Coremas-Mãe D'Água e sua jusante.

### **8.2.1 ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS A MONTANTE**

A situação dos 24 reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, com relação à disponibilidade de água para atendimento a novas demandas é mostrada na Tabela

8.18. As vazões para cada reservatório foram obtidas através de tentativa, utilizando o método de outorga apresentado. A tabela apresenta também a distribuição dos reservatórios, as demandas médias disponíveis, as garantias de atendimento a essas demandas para os reservatórios com crédito de água e os déficits hídricos dos reservatórios com falhas de atendimento.

Algumas observações importantes podem ser extraídas da Tabela 8.18. Essas observações estão descritas a seguir.

**Tabela 8.18** – Situação dos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água com relação a disponibilidade de água

Distribuição dos Reservatórios		Situação	Vazões Médias Disponíveis (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)	Déficit Hídrico (m <sup>3</sup> /s)	Percentual em relação a demanda (%)
Principais	Montante					
Serra Vermelha I	---	s/credito nem débito	---	---	---	---
Piranhas	---	crédito	0,212	90,35	---	---
Boq. Dos Cochos	---	crédito	0,022	90,57	---	---
Emas	---	crédito	0,012	90,88	---	---
Jenipapeiro	---	crédito	0,655	90,56	---	---
	Bom Jesus	crédito	0,059	90,57	---	---
	Glória	crédito	0,013	80,18	---	---
	Timbaúba	débito	---	---	0,1231	73,19
Poço Redondo*	---	crédito	0,130	90,25	---	---
	Católé	débito	---	---	0,0174	100
Bruscas	---	crédito	0,058	90,25	---	---
Cach. dos Alves	---	débito	---	---	0,0033	18,97
	---	crédito	0,320	90,41	---	---
Saco de N. Olinda	Jatobá II	s/credito nem débito	---	---	---	---
Queimadas	---	crédito	0,085	90,57	---	---
Frutuosos II	---	débito	---	---	0,2160	88,76
Cach. dos Cegos	---	crédito	0,250	90,25	---	---
Condado	---	crédito	0,16	90,72	---	---
Vazante	---	crédito	0,145	90,88	---	---
	Vidéo	débito	---	---	0,0019	23,29
Canoas*	---	crédito	0,022	90,57	---	---
	Tavares	crédito	0,085	90,09	---	---
Santa Inês	---	crédito	0,120	90,09	---	---
Garra	---	crédito	0,185	90,41	---	---
<b>Total</b>			<b>2,533</b>		<b>0,4068</b>	---

\*Consideraram-se concluídos nesta análise os reservatórios Poço Redondo e Canoas

## **1) Com relação à possibilidade de concessão de água**

- Dos 24 reservatórios analisados, 17 apresentam créditos de água que podem ser disponibilizados para atendimento a novas demandas: São eles: Piranhas, Boqueirão dos Cochos, Emas, Jenipapeiro, Bom Jesus, Glória, Poço Redondo, Bruscas, Saco de Nova Olinda, Queimadas, Tavares, Cachoeira dos Cegos, Condado, Vazante, Canoas, Santa Inês e Garra.
- Os reservatórios Timbaúba, Catolé, Cachoeira dos Alves, Frutuoso II e Vidéo encontram-se com déficit hídrico, comprometendo o atendimento das demandas já existentes.
- Os reservatórios Serra Vermelha I e Jatobá II não apresentam falhas, no entanto, estão no limite, com relação à possibilidade de atendimento às demandas e por isso não podem ceder água para outros reservatórios.

## **2) Com relação à localização dos reservatórios**

- Apenas os reservatórios Jenipapeiro, Poço Redondo, Saco de Nova Olinda, Canoas e Vazante possuem reservatórios ligados em série a montante. A Figura 6.2 (Capítulo 6) mostra como esses reservatórios estão dispostos na Bacia do Rio Piancó. Portanto, somente eles podem, caso necessitem, receber complemento de vazão de outros reservatórios.
- O reservatório Jenipapeiro está localizado em série e a jusante dos reservatórios Bom Jesus, Glória e Timbaúba, porém não necessita de água para complementar o atendimento às suas demandas. O reservatório Timbaúba, apresenta déficit hídrico de aproximadamente  $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ , no entanto, não existe nenhum reservatório a sua montante para realizar a transposição de outorga.
- O reservatório Poço Redondo, que está localizado em série e a jusante do reservatório Catolé, também não necessita de vazão complementar. Porém, o reservatório Catolé necessita de uma vazão de  $0,017 \text{ m}^3/\text{s}$  para atendimento de

sua demanda, mas não possui reservatórios em série a montante dele que possam disponibilizar essa vazão.

- O reservatório Tavares está em série e a montante do reservatório Canoas. Ambos possuem crédito de água, não necessitando, pois, de transferência de vazão.
- O reservatório Saco de Nova Olinda encontra-se localizado a jusante do reservatório Jatobá II e, apesar de ser auto-suficiente no tocante ao atendimento de suas demandas, caso precisasse, não poderia contar com o auxílio do reservatório Jatobá II, pois esse encontra-se com sua disponibilidade hídrica no limite.
- O reservatório Vazante, situado a jusante do Vídeo, encontra-se com reserva de água satisfatória. No entanto, o mesmo não pode ser dito do reservatório Vídeo, que, apesar do déficit hídrico de  $0,0019 \text{ m}^3/\text{s}$ , não possui nenhum reservatório a sua montante para uma possível transposição de outorga.
- Os Reservatórios Cachoeira dos Alves e Frutuoso II não possuem nenhum reservatório em série, nem a jusante nem a montante. Ambos apresentam déficits hídricos ( $0,033 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,216 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente) correspondentes a um percentual médio de comprometimento em relação à demanda total de 18,97 %, para Cachoeira dos Alves e de 88,76% para Frutuoso II.

### **3) Com relação às vazões médias disponíveis e à garantia de atendimento**

- Nos reservatórios com crédito de água, as vazões médias disponíveis são limitadas pela garantia de atendimento, que deve ser, no mínimo de 90%. O reservatório Piranhas, por exemplo, poderá disponibilizar até  $0,212 \text{ m}^3/\text{s}$  com garantia de 90,35%, sem comprometer o atendimento, nem alterar o nível de garantia das suas próprias demandas.

- Dos reservatórios com créditos, apenas o reservatório Glória, apesar de possuir disponibilidade para retiradas de água, não consegue assegurar um atendimento com garantia mínima de 90%. A demanda de 0,013 m<sup>3</sup>/s só pode ser disponibilizada em 80% do tempo.

Numa análise geral, pode-se concluir que 71% dos reservatórios estudados possuem disponibilidade hídrica superior à demanda, permitindo a possibilidade de concessão de vazão a outros reservatórios; 21% apresentam falhas de atendimento às suas próprias demandas, porém nenhum deles possui reservatórios em série a sua montante que facilitem a liberação de vazão, para complementar as demandas deficitárias; os 8% restantes são reservatórios que não possuem problemas de atendimento às suas demandas, não possuindo, no entanto, vazão suficiente para disponibilizar a outros reservatórios, ou seja, estão no limite do atendimento, não podendo aceitar novos pedidos de outorgas.

### **8.2.2 ANÁLISE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA**

Neste item análise-se o sistema Coremas-Mãe D'Água interligado aos reservatórios de montante. No que tange à localização, observa-se que o sistema está em série com todos os reservatórios à sua montante, logo pode receber contribuições dos 17 reservatórios que possuem crédito hídrico, já que nenhum deles atende aos reservatórios com déficits, como mostrado no item anterior. Além dessas possíveis contribuições, o sistema também poderá contar com os vertimentos, caso existam, de todos os reservatórios de montante.

A Tabela 8.19 apresenta, para cada demanda média do sistema, as garantias de atendimento, quando considerados os vertimentos dos reservatórios a montante, e compara esses valores com os valores obtidos para o sistema isoladamente, ou seja, sem receber as contribuições dos volumes vertidos. Como as demandas dos perímetros irrigados Piancó II, III e Piancó-Brotas (a montante do sistema, no entanto, consideradas como do sistema) foram atendidas com 100% de garantia (Ver item 8.1.1.2), não estão incluídas na Tabela 8.19, apesar de terem sido utilizadas na análise, considerando os vertimentos.



**Tabela 8.19** – Análise das garantias de atendimento às demandas com e sem vertimentos a montante do sistema

Reservatório	Dados de outorga			Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)	
	Localização	Nº do pedido	Finalidade		Com Vertimento	Sem Vertimento
Coremas-Mãe D'Água	Diretamente ligado ao sistema e a jusante	1	Abastecimento	0,010	100	100
		2	Abastecimento a jusante	1,548	100	95,45
		3	Adutoras	0,099	100	81,06
		4	Adutoras a jusante	0,971	100	81,06
		5	Irrigação difusa	0,096	100	81,06
		6	Irrigação difusa a jusante	2,739	100	54,54
		7	Irrigação em perímetros	5,875	81,94	13,63
		8	Irrigação em perímetros a jusante	1,000	52,78	12,88
		9	Piscicultura	0,013	52,78	12,88
		10	Piscicultura a jusante	0,045	52,78	12,88
		11	Indústria a jusante	0,004	52,78	12,88

De acordo com a tabela, observa-se que os volumes vertidos dos reservatórios a montante, que chegam a Coremas-Mãe D'Água, colaboram intensamente para a redução das falhas de atendimento às demandas outorgadas, aumentando todas as garantias, tanto as demandas do sistema quanto as de jusante.

Das demandas diretamente ligadas ao sistema e a jusante, apenas as de abastecimento haviam sido atendidas quando analisado o sistema sem vertimento. No entanto, após computados os vertimentos, além do abastecimento, as demandas referentes à adutora e à irrigação difusa passaram a ser atendidas com garantia de 100%. Para todas as demais, apesar de não estarem com o nível de garantia esperado, observou-se um aumento percentual, quando adicionados os vertimentos de, no mínimo, 39,9%.

Numa perspectiva geral, nota-se que, quando estudado o sistema Coremas-Mãe D'Água, isoladamente, das onze demandas consideradas, apenas duas (18,2%) haviam sido atendidas, já com o sistema integrado e utilizando os vertimentos dos reservatórios de montante, esse número sobe para seis (54,5%), gerando uma melhoria de 36,3%.

O cálculo dos déficits hídricos, referentes a cada uma das demandas com falhas de atendimento, no sistema Coremas-Mãe D'Água, utilizando ou não o vertimento, bem como o percentual representativo desses déficits em relação às vazões dos pedidos de outorga, são

apresentados na Tabela 8.20. Nessa tabela, também são mostradas as vazões médias disponibilizadas pelos reservatórios de montante (com crédito) e suas respectivas garantias. As observações extraídas da Tabela 8.20 estão descritas a seguir.

### **1) Com relação às vazões médias disponíveis advindas dos reservatórios de montante**

- Como na análise anterior, observou-se que o reservatório Glória, apesar de poder ceder vazão, só garantia o atendimento em 80% do tempo. Esse reservatório foi desconsiderado como possível contribuinte na análise do sistema Coremas-Mãe D'Água, restando, portanto, dezesseis reservatórios com crédito de água e garantia de atendimento superior a 90%.
- O total das vazões disponibilizadas para complementar o atendimento às demandas do sistema Coremas-Mãe D'Água é de 2,52 m<sup>3</sup>/s.

### **2) Com relação aos déficits hídricos do sistema Coremas-Mãe D'Água**

- Como as demandas de abastecimento do sistema e a jusante não apresentavam falhas de atendimento, foram excluídas da análise dos déficits hídricos, restando apenas nove demandas a serem avaliadas.
- Desconsiderando os vertimentos, no sistema Coremas-Mãe D'Água, das nove demandas com falhas, cinco apresentaram um déficit de atendimento maior que 80% da vazão outorgada. Por exemplo, para o pedido 9 (piscicultura ligada ao sistema), o valor real outorgado é de 0,013 m<sup>3</sup>/s, no entanto o sistema pode atender apenas 11,79% desse valor, necessitando de, no mínimo, 88,21% de contribuição, para satisfazer a demanda desse pedido, com um nível de garantia de 90%.

**Tabela 8.20** – Situação do sistema Coremas-Mãe D'Água com relação à disponibilidade de água

Distribuição dos Reservatórios		Situação	Nº Pedido	Vazões Médias disponíveis (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)	Déficit Hídrico (m <sup>3</sup> /s)		(%) em relação ao pedido de outorga	
Principais	Montante					c/Vert.	s/Vert.	c/Vert.	s/Vert.
Coremas-Mãe D'Água		débito	3*	---		0	0,019	0	19,22
		débito	4*	---		0	0,187	0	19,22
		débito	5*	---		0	0,018	0	19,22
		débito	6*	---		0	1,254	0	45,79
		débito	7*	---		0,886	5,116	15,09	87,09
		débito	8*	---		0,479	0,884	47,87	88,36
		débito	9*	---		0,006	0,011	47,79	88,21
		débito	10*	---		0,022	0,040	47,87	88,36
		débito	11*	---		0,002	0,003	47,60	87,88
	Piranhas	crédito		0,212	90,35	---	---	---	---
	Boq. Dos Cochos	crédito		0,022	90,57	---	---	---	---
	Emas	crédito		0,012	90,88	---	---	---	---
	Jenipapeiro	crédito		0,655	90,56	---	---	---	---
	Bom Jesus	crédito		0,059	90,57	---	---	---	---
	Poço Redondo	crédito		0,130	90,25	---	---	---	---
	Bruscas	crédito		0,058	90,25				
	Saco de N. Olinda	crédito		0,320	90,41	---	---	---	---
	Queimadas	crédito		0,085	90,57				
	Tavares	crédito		0,085	90,09				
	Cach. dos Cegos	crédito		0,250	90,25	---	---	---	---
	Condado	crédito		0,16	90,72	---	---	---	---
	Vazante	crédito		0,145	90,88	---	---	---	---
	Canoas*	crédito		0,022	90,57	---	---	---	---
	Santa Inês	crédito		0,120	90,09	---	---	---	---
	Garra	crédito		0,185	90,41	---	---	---	---
<b>Total vazões disponíveis (garantia ≥ 90%)</b>				<b>2,520</b>	<b>Total déficit Hídrico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>1,395</b>	<b>7,533</b>	---	---

\* Nº dos pedidos: 3 (adutora), 4 (adutora a jusante), 5 (irrigação difusa), 6 (Irrigação difusa a jusante), 7 (irrigação em perímetros), 8 (irrigação em perímetros a jusante), 9 (piscicultura), 10 (piscicultura a jusante) e 11 (indústria a jusante)

- Incluindo os vertimentos advindos dos reservatórios a montante, nota-se que, além da redução das demandas com falhas de atendimento (de nove para cinco), existe também, uma diminuição no valor dos déficits hídricos daquelas demandas ainda com falhas e, conseqüentemente, dos percentuais em relação às vazões outorgadas, que se mostram inferiores a 50% para todas das demandas.

- Considerando os vertimentos, o somatório total dos déficits de vazões pelo sistema Coremas-Mãe D'Água, para complementar o atendimento às suas demandas, é de 1,39 m<sup>3</sup>/s, bem inferior ao valor de 7,53 m<sup>3</sup>/s, quando analisado o sistema sem contribuições dos vertimentos liberados pelos reservatórios de montante. Em termos percentuais, observa-se um aumento de 6,14 m<sup>3</sup>/s, ou seja, 541,73%.
- Considerando que a vazão total disponibilizada pelos reservatórios de montante com garantia mínima de 90% é de 2,52 m<sup>3</sup>/s, esses reservatórios podem suprir 100% do déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água, desde que incluídos os volumes vertidos e ainda existe uma sobra de 1,13 m<sup>3</sup>/s. Por outro lado, caso sejam desconsiderados os vertimentos, a vazão total disponibilizada pelos reservatórios de montante só atenderá 33,47% do déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água.

Outras análises podem ser realizadas, considerando o sistema Coremas-Mãe D'Água recebendo vertimentos dos reservatórios de montante e fazendo algumas alterações em suas demandas: a redução de 0,5 m<sup>3</sup>/s da vazão que sai do sistema Coremas-Mãe D'Água, para atendimento à demanda de abastecimento do Estado do Rio Grande do Norte; e a retirada da vazão de 4,0 m<sup>3</sup>/s, destinada ao atendimento à demanda do perímetro irrigado de Sousa. Maiores detalhes sobre essas alterações foram abordados no item (8.1.1.2) e seus efeitos sobre as demais demandas do sistema estão apresentados na Tabela 8.21.

Dos valores apresentados na Tabela 8.21, algumas considerações podem ser feitas:

- Quando considerados os vertimentos e reduzida a vazão destinada a abastecimento em 0,5 m<sup>3</sup>/s, ocorre um incremento de 4,17 % (81,94% para 86,11%) na demanda de irrigação em perímetros diretamente ligados ao sistema, diferentemente do que ocorre quando se faz a análise sem redução de vazão e com vertimento. No entanto, apesar desse incremento, as falhas de atendimento ainda são superiores a 10%. As demais demandas não sofrem alterações.

**Tabela 8.21** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água em relação às demandas médias considerando a análise com vertimento e fazendo alterações de demandas.

Reservatório	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)	
	Localização	Finalidade		s/ demanda de abastecimento	s/ demanda das Várzeas de Sousa
Coremas-Mãe D'Água	Ligadas ao sistema e a jusante	Abastecimento	0,010	100	100
		Abastecimento a jusante	1,548	100	100
		Adutoras	0,099	100	100
		Adutoras a jusante	0,971	100	100
		Irrigação difusa	0,096	100	100
		Irrigação difusa a jusante	2,739	100	100
		Irrigação em perímetros	5,875	86,11	100
		Irrigação em perímetros a jusante	1,000	52,78	100
		Piscicultura	0,013	52,78	100
		Piscicultura a jusante	0,045	52,78	100
		Indústria a jusante	0,004	52,78	100

- Já para o caso de retirar a demanda de irrigação das Várzeas de Souza, e considerando a contribuição dos volumes vertidos ao sistema Coremas-Mãe D'Água, observa-se que as cinco demandas que antes apresentavam garantias não satisfatórias (ver Tabela 8.19) agora são atendidas sem falhas. A garantia a demanda de irrigação em perímetros subiu 11,06 percentuais (81,94% para 100%) e as demais (irrigação em perímetros a jusante, piscicultura ligada ao sistema e a jusante, e indústria a jusante) passaram de 52,78% para 100%, ou seja, cresceram 47,22 percentuais.
- Pode-se, então, observar que, considerando os vertimentos dos reservatórios a montante do sistema, a redução na vazão de abastecimento a jusante em 0,5 m<sup>3</sup>/s causa poucas modificações no atendimento às demandas do sistema. Ao contrário, caso retirada a vazão de 4,0 m<sup>3</sup>/s referente ao perímetro irrigado de Sousa, várias demandas são beneficiadas.

A Tabela 8.22 traz um estudo do comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água com relação aos déficits hídricos, com e sem vertimentos, quando consideradas as alterações de demandas descritas anteriormente. As principais conclusões referentes a essa tabela estão descritas a seguir:

**Tabela 8.22** – Comportamento do sistema Coremas-Mãe D'Água, com e sem vertimento, com relação às vazões requeridas e considerando as alterações de demandas.

Reservatórios	Alterações	Finalidade	Situação	Déficit Hídrico (m <sup>3</sup> /s)		(%) em relação ao pedido de outorga		
				c/Vert.	s/Vert.	c/Vert.	s/Vert.	
Coremas-Mãe D'Água	Reduzida a demanda de abastecimento de jusante (atendimento ao Estado Rio Grande do Norte)	Adutoras	Débito	0	0	0	0	
		Adutoras a jusante	Débito	0	0,182	0	18,73	
		Irrigação difusa	Débito	0	0,018	0	19,22	
		Irrigação difusa a jusante	Débito	0	1,005	0	36,69	
		Irrigação em perímetros	Débito	0,664	5,018	11,30	85,41	
		Irrigação em perímetros a jusante	Débito	0,479	0,884	47,87	88,36	
		Piscicultura	Débito	0,006	0,011	47,79	88,21	
		Piscicultura a jusante	Débito	0,022	0,040	47,87	88,36	
		Indústria a jusante	Débito	0,002	0,003	47,60	87,88	
	<b>Déficit hídrico total no sistema (m<sup>3</sup>/s)</b>				<b>1,172</b>	<b>7,162</b>	---	---
	Retirada a demanda do perímetro irrigado de Sousa	Adutoras	Débito	0	0,019	0	19,22	
		Adutoras a jusante	Débito	0	0,187	0	19,22	
		Irrigação difusa	Débito	0	0,018	0	19,22	
		Irrigação difusa a jusante	Débito	0	1,254	0	45,79	
		Irrigação em perímetros	Débito	0	1,583	0	26,95	
		Irrigação em perímetros a jusante	Débito	0	0,884	0	88,36	
		Piscicultura	Débito	0	0,011	0	88,21	
		Piscicultura a jusante	Débito	0	0,040	0	88,36	
		Indústria a jusante	Débito	0	0,003	0	87,88	
	<b>Déficit hídrico total no sistema (m<sup>3</sup>/s)</b>				<b>0</b>	<b>4,000</b>	---	---

- Caso a vazão destinada a abastecimento fosse reduzida em 0,5 m<sup>3</sup>/s, analisando-se o sistema com vertimento, ter-se-ia um déficit hídrico total de 1,17 m<sup>3</sup>/s, ou seja, 15,83% menor que em relação ao cenário com demandas totais. Portanto, as vazões disponibilizadas pelos reservatórios de montante poderiam atender 100% do déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água, e ainda deixaria uma sobra de 1,35 m<sup>3</sup>/s, correspondente a 53,57% da vazão total disponível.
- Desconsiderando os vertimentos, se a vazão destinada a abastecimento fosse reduzida, o déficit hídrico total do sistema Coremas-Mãe D'Água seria de 7,16 m<sup>3</sup>/s, 4,91% menor que em relação ao cenário em que se utilizam as demandas totais. A vazão total disponibilizada pelos reservatórios a montante atende

35,19% do déficit hídrico, apenas, 1,72% a mais que para o cenário com as vazões totais.

- A partir das duas afirmações anteriores, pode-se concluir que a redução de vazão em  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  mostra pouca influência sobre o valor dos déficits hídricos do sistema Coremas-Mãe D'Água.
- Na segunda situação, em que se retira a demanda do perímetro irrigado de Sousa, o déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água, quando considerados os vertimentos, torna-se zero, ou seja, como todas as demandas são atendidas, não existem falhas de atendimento.
- Caso sejam desconsiderados os vertimentos, o déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água passa a ser de  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , sofrendo uma redução de 53,1% em relação ao cenário, que inclui a demanda do perímetro irrigado de Sousa. Como a vazão disponibilizada pelos reservatórios de montante é de  $2,52 \text{ m}^3/\text{s}$ , poderia atender neste caso, 63% do déficit, ou seja, 29,55% a mais do que atenderia, considerando-se todas as demandas do sistema.
- Portanto, quando associada aos vertimentos, pode-se concluir que a retirada de  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$  referente à irrigação do perímetro de Sousa tem influência significativa sobre os déficits do sistema Coremas-Mãe D'Água

### **8.3 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM OS RESERVATÓRIOS EM PARALELO (CDHRP)**

O estudo do cenário de demanda hídrica, considerando-se os reservatórios ligados em série, mostrou que, na maioria das análises, não foi possível levar em conta a possibilidade de transposição de outorga. Nesta análise, os reservatórios com déficit hídricos não estavam a jusante e em série com os reservatórios com disponibilidade de água, impossibilitando a transferência de vazão.

### 8.3.1 ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS A MONTANTE

A Tabela 8.23 apresenta a distribuição dos reservatórios com problemas de atendimento à demanda e os reservatórios vizinhos correspondentes. Também são apresentados os demais reservatórios com crédito de água e suas respectivas vazões disponíveis para atendimento a novas demandas. Algumas análises obtidas a partir da Tabela 8.23 são apresentadas a seguir:

**Tabela 8.23** – Situação dos reservatórios com déficit de água quando atendidos por reservatórios vizinhos

Distribuição dos Reservatórios		Vazões Médias disponíveis (m <sup>3</sup> /s)	Déficits Hídricos (m <sup>3</sup> /s)	Percentual em relação a demanda (%)	Vazão Residual (m <sup>3</sup> /s)
Reservatórios com déficit	Vizinho mais próximo				
Cach. dos Alves	---	---	0,0033	18,97	---
	Vazante	0,145	---	---	0,1417
Frutuoso II	---	---	0,2160	88,76	---
	Boqueirão dos Cochos	0,022	---	---	0,000
Vidéo	---	---	0,0019	23,29	---
	Piranhas	0,212	---	---	0,2101
Timbaúba	---	---	0,1231	73,19	---
	Bom Jesus	0,059	---	---	0,000
Catolé	---	---	0,0174	100	---
	Bruscas	0,058	---	---	0,0406
<b>Total</b>		<b>0,496</b>	<b>0,3617</b>	---	<b>0,3924</b>
<b>Total de Vazão dos demais Reservatórios com crédito</b>		<b>2,024</b>	<b>Total Vazão Disponível + Vazão residual</b>		<b>2,416</b>
<b>Total Geral</b>		<b>2,520</b>			

\*Considerou-se concluídos nesta análise os reservatórios Poço Redondo e Canoas.

#### 1) Com relação à localização dos reservatórios

- Os reservatórios Cachoeira dos Alves, Frutuoso II, Vidéo, Timbaúba e Catolé, com déficit hídrico, estão situados próximos aos reservatórios Vazante, Boqueirão dos Cochos, Piranhas, Bom Jesus e Bruscas, respectivamente. A Figura 6.2 (Capítulo 6) mostra como esses reservatórios estão dispostos na Bacia do Rio Piancó.
- Especificamente para os reservatórios Frutuoso II e Catolé, não foi possível selecionar reservatórios em paralelo, localizados em cotas mais altas, para



atender seus déficits de vazões, sendo, portanto, selecionados os reservatórios Boqueirão dos Cochos e Bruscas como as opções mais próximas.

## **2) Com relação à transposição de outorga entre os reservatórios**

- Caso fosse considerada uma transposição de vazão, o reservatório Vazante atenderia à demanda requerida pelo reservatório Cachoeira dos Alves ainda restando 77,24% da vazão disponível, correspondente a 0,1417 m<sup>3</sup>/s, para atender a outros reservatórios.
- O reservatório Frutuoso II possui um déficit hídrico superior à vazão máxima possível de ser disponibilizada pelo reservatório Boqueirão dos Cochos. Essa vazão só poderá atender 10,18% das falhas de atendimento de Frutuoso II, possivelmente não representando vantagem se considerada a questão custo × benefício. Portanto, Boqueirão dos Cochos não pode atender completamente à demanda solicitada pelo reservatório Frutuoso II.
- Com relação ao reservatório Vídeo, pode-se concluir que a vazão de 0,0019 m<sup>3</sup>/s requerida é atendida pelo reservatório Piranhas (em paralelo e mais próximo), e ainda tem capacidade de atender outras demandas com uma vazão de 0,2101 m<sup>3</sup>/s, ou seja, 91,04% do total.
- Timbaúba é o reservatório que está em paralelo com Bom Jesus. A vazão disponível neste reservatório é menor que a vazão necessitada por Timbaúba para o atendimento de suas demandas. Caso fosse requerida, a vazão de Bom Jesus cobriria 47,93% (pouco menos da metade) do déficit hídrico de Timbaúba.
- O Reservatório Catolé poderia utilizar, para cobrir as falhas de atendimento às suas demandas, a vazão cedida pelo reservatório Bruscas. Se realizada a transposição, ainda restaria 70% da vazão disponibilizada por Bruscas (0,041 m<sup>3</sup>/s), para atender outras demandas.

### 3) Com relação às vazões médias totais

- As vazões médias totais requeridas pelos reservatórios Cachoeira dos Alves, Frutuoso II, Vidéo, Timbaúba e Catolé, para complementar o atendimento às duas demandas, somam uma vazão de  $0,3617 \text{ m}^3/\text{s}$ , ou seja, 72,92% das vazões disponibilizadas pelos reservatórios vizinhos.
- As vazões médias disponibilizadas pelos reservatórios Vazante, Boqueirão dos Cochos, Piranhas, Bom Jesus e Bruscas totalizam, juntas, aproximadamente  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Desse total, apenas 20,88% podem efetivamente ser utilizadas pelos reservatórios, com falhas de atendimento às demandas.

#### 8.3.2 ANÁLISE DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA

No cenário anterior (CDHRS), o sistema Coremas-Mãe D'Água poderia contar com a contribuição de dezesseis reservatórios. Agora, apesar de ainda poder utilizar os vertimentos de todos os reservatórios de montante, só poderá contar com as vazões disponíveis totais de onze reservatórios e com as vazões parciais de três reservatórios, além de perder a contribuição de dois outros. Este item tem o intuito de analisar o grau de interferência, no sistema Coremas-Mãe D'Água, causado pelas modificações advindas do uso dos reservatórios em paralelo a montante, para atender a reservatórios com déficits de água também a montante.

A Tabela 8.24 apresenta os déficits hídricos do sistema Coremas-Mãe D'Água e as vazões disponíveis advindas dos reservatórios de montante. As observações referentes a tabela com relação ao sistema Coremas-Mãe D'Água estão mostradas como segue.

(a) Para o sistema com vertimento

- Considerando o sistema Coremas-Mãe D'Água, com todas as suas demandas e os vertimentos, pode-se observar que as vazões totais disponíveis apenas dos onze reservatórios a montante são suficientes para atender todo o déficit hídrico do sistema e ainda deixar uma sobra de  $0,629 \text{ m}^3/\text{s}$ . No entanto, essa sobra é de 59,9% menor que a deixada quando analisados os reservatórios em série, correspondendo a uma redução de  $0,421 \text{ m}^3/\text{s}$  na vazão disponibilizada.

**Tabela 8.24** – Situação do sistema Coremas-Mãe D'Água quando considerados os reservatórios a montante atendidos por outros em paralelos

Reservatórios	Vazões Médias Totais disponíveis (m <sup>3</sup> /s)	Déficits Hídricos (m <sup>3</sup> /s)	
		c/vertimento	s/vertimento
Coremas-Mãe D'Água c/ todas as demandas	---	1,395	7,533
Coremas-Mãe D'Água reduzindo a demanda de abastecimento a jusante	---	1,172	7,162
Coremas-Mãe D'Água s/ demanda do Perímetro de Sousa	---	0	4,000
11 Reservatórios a montante	2,024	---	---
Vazante+Piranhas+Brucas	0,393	---	---
Boqueirão dos Cochos + Bom Jesus	0,000	---	---
<b>Total</b>	<b>2,417</b>	---	---

- Como o déficit hídrico do sistema é totalmente suprido pela vazão disponibilizada dos reservatórios de montante, a redução da demanda de abastecimento a jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água apenas teria o efeito de diminuir esse déficit. No entanto, as falhas de atendimento continuariam sendo totalmente atendidas, tanto considerando-se a contribuição de apenas onze reservatórios a montante, quanto dos quatorze reservatórios (incluídos Vazante, Piranhas e Brucas). Portanto, neste caso, não existem perdas para o sistema Coremas-Mãe D'Água, estando os reservatórios analisados em série ou em paralelo.
- Caso fosse retirada a demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s referente ao perímetro irrigado de Sousa, os resultados não apresentaram mudanças, independente da análise do sistema ser feita em paralelo ou em série, ou seja, os déficits hídricos continuariam sendo zero.

(b) Para o sistema sem vertimento

- Analisando o sistema Coremas-Mãe D'Água, com todas as suas demandas, porém sem os vertimentos, e apenas contando com as vazões totais disponíveis dos onze reservatórios a montante, observa-se que essa vazão atenderá a um

percentual de 26,87% do déficit hídrico do sistema. Esse percentual é 6,60% mais baixo que o atendido, considerando a análise dos reservatórios em série.

- Caso seja acrescentada à vazão total disponível (2,024 m<sup>3</sup>/s) a vazão que sobra dos reservatórios Vazante, Piranhas e Bruscas, após atendimento aos reservatórios Cachoeira dos Alves, Vídeo e Catolé (0,393 m<sup>3</sup>/s), totalizando uma vazão disponível de 2,417 m<sup>3</sup>/s, o atendimento ao sistema Coremas será de 32,08%, apenas 1,39% a menos do que quando utilizado todos os reservatórios integralmente. Portanto, pode-se concluir que a redução de 0,103 m<sup>3</sup>/s na vazão disponibilizada pelos reservatórios de montante, para o sistema Coremas-Mãe D'Água, não causa grandes efeitos no atendimento aos déficits hídricos do sistema.
- Reduzindo-se a demanda de abastecimento a jusante de Coremas-Mãe D'Água em 0,5 m<sup>3</sup>/s e analisando-se novamente o sistema, tem-se que as vazões disponíveis atendem a 28,26% dos déficits hídricos do sistema, quando considerados apenas os onze reservatórios a montante, e 33,75%, quando incluídos Vazante, Piranhas e Bruscas. Isto significa um acréscimo de 1,39%, no primeiro caso e 1,67% no segundo em relação aos resultados obtidos, considerando-se todas as demandas do sistema.
- Caso fosse retirada do Sistema Coremas-Mãe D'Água a demanda para irrigação do perímetro de Sousa, e desconsiderados os vertimentos, mesmo assim, 50,6% dos déficits hídricos seriam atendidos, se utilizadas as contribuições apenas dos onze reservatórios a montante. Esse percentual subiria para 60,42%, desde que utilizados os quatorze reservatórios. Observa-se, neste caso, um aumento de 23,73% e 28,34% no atendimento, respectivamente para as análises com onze e quatorze reservatórios, em relação aos resultados obtidos, incluindo a irrigação das Várzeas de Sousa.

Pode-se concluir que, de uma maneira geral, a análise de transposição de vazão para reservatórios em paralelo é ainda mais complexa que para reservatórios ligados em série, não devendo ser realizada simplesmente considerando o quanto existe de vertimento, crédito ou débito de vazão entre os reservatórios envolvidos. As questões social e econômica (custo ×

benefício) são bastante relevantes para esta análise. No entanto, este cenário foi inserido no estudo apenas com o objetivo de apresentar uma visão geral das possibilidades de atendimento aos pedidos de outorga na Bacia do Rio Piancó.

As análises apresentadas, tanto para o uso dos reservatórios em série quanto em paralelo, e, principalmente, com relação ao sistema Coremas-Mãe D'Água, reserva hídrica mais importante do estudo e com elevado grau de déficit hídrico, mostram que, muitos dos problemas existentes na bacia são decorrentes de um mau gerenciamento dos recursos hídricos, da falta de estudo com relação as retiradas a montante e do uso de modelos inadequados que não retratam a realidade do sistema. Estes fatores contribuem diretamente para a concessão de outorgas além das possibilidades da bacia e a realização de obras de grande porte e demasiadamente caras, como por exemplo, o Canal da Redenção que sai do Sistema Coremas Mãe D'Água para irrigação do Perímetro de Sousa, sem estudos prévios que garantam sua sustentabilidade e a dos reservatórios envolvidos, agravando ainda mais os problemas de oferta de água na Bacia.

A black and white photograph of water being poured into a glass. The water is captured in mid-pour, creating a dynamic splash with many droplets and ripples. The background is a soft, out-of-focus grey.

**Capítulo IX**  
**Conclusões e Recomendações**

## **9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **9.1 CONCLUSÕES**

Baseada na contribuição científica e nos objetivos propostos neste trabalho que buscavam investigar caminhos para melhoria do processo de outorga na bacia do rio Piancó, foi desenvolvida uma metodologia de apoio à outorga dos direitos de uso da água, em bacias hidrográficas controladas por reservatórios, tendo como base um modelo linear de otimização, que realiza a concessão ou não de vazão para outorga, a partir das sub-bacias de contribuições individuais de cada reservatório do sistema e considera tanto pedidos de outorgas com vazões constantes quanto variáveis mês a mês. Essa metodologia possibilita um melhor uso da capacidade dos reservatórios e aumenta a liberdade de transferência intra e inter-anual de água, para o atendimento a novas demandas, enquanto otimiza o uso de suas disponibilidades hídricas. O modelo apresentou resultados importantes com relação à situação das outorgas nos reservatórios da bacia do Rio Piancó, e algumas alternativas possíveis de melhoria. Os resultados aqui obtidos poderão servir de suporte para eventuais estudos sobre o assunto. A seguir, serão apresentadas as principais conclusões gerais e as conclusões específicas referentes a cada cenário abordado.

#### **9.1.1 – GERAIS**

1. Após todas as análises realizadas e expostas no presente estudo, pode-se concluir que o modelo de outorga aqui proposto apresentou resultados coerentes para a Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, não sendo encontrados empecilhos para que ele seja utilizado em outras bacias, desde que controladas por reservatórios.
2. O modelo além de possuir uma apresentação fácil e acessível mostrou um bom desempenho realizando as otimizações em curto espaço de tempo apesar de ter sido rodado para séries longas com até 53 anos.
3. A metodologia utilizada pelos órgãos responsáveis para determinação da vazão máxima outorgável na bacia do rio Piancó não é a mais adequada, visto que não retrata a realidade do sistema, principalmente no que tange a disponibilidade hídrica, sendo comprovada mais adiante, nas conclusões específicas de cada

cenário, em que, pedidos de outorga de vários reservatórios não são atendidos com a garantia mínima estabelecida pelo Decreto 19.260 e, portanto, não estão condizentes com o arcabouço legal do Estado da Paraíba.

4. Como a bacia é formada por um sistema extremamente complexo, com uma grande quantidade de reservatórios a montante de Coremas-Mãe D'Água, torna-se impraticável a concessão de novas outorgas e/ou a renovação das outorgas atuais sem que haja um comprometimento do sistema.
5. A análise atual para concessão das outorgas na bacia não tem sido realizada de forma correta, pois baseia-se em modelos de simulação que, pelo observado neste estudo são limitados e incapazes de gerar resultados eficientes que sirvam de suporte a decisão para concessão de outorga de uso da água.
6. Caso fosse realizada a transposição de 10 m<sup>3</sup>/s do Rio São Francisco, através do Sistema Coremas-Mãe D'Água haveria obviamente um aumento do atendimento aos pedidos de outorga destinados aos reservatórios. Conclusões mais detalhadas sobre esta questão estão expostas mais a diante no tópico 9.2.1.3.

## **9.1.2 ESPECÍFICAS**

### **9.1.2.1 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM RESERVATÓRIOS ISOLADOS**

Neste cenário foi mostrado o comportamento dos reservatórios envolvidos no estudo, quando utilizavam apenas sua sub-bacia de contribuição para atendimento a três tipos de demandas: atual, futura (com projeção para os horizontes de planejamento 2017 e 2027) e de gerenciamento alternativo (considerando a transposição de uma vazão de 10,0 m<sup>3</sup>/s do Rio São Francisco para a Bacia do Rio Piancó). As principais conclusões do cenário para cada tipo de demanda estão numeradas abaixo.

#### **DEMANDA HÍDRICA ATUAL**

##### **Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água**

1. dos vinte e um reservatórios analisados, pelo menos seis deles, correspondendo a 28,6% do total de reservatórios, não se mostraram capazes de fornecer todas a



outorgas a que estavam destinados de forma que pudessem garantir um atendimento contínuo em pelo menos 90% do tempo de acordo com o exigido no Decreto Estadual nº 19.260 que regulamenta a outorga de uso da água na Paraíba e garantir a segurança do reservatório.

### **Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e jusante**

1. Todas as demandas dos perímetros irrigados ao longo do Rio Piancó (montante) foram atendidas com garantia total, ou seja, sem falhas de atendimento.
2. Das três análises realizadas, com relação às demandas diretamente ligadas ao sistema e às demandas de jusante, a que adotava parcialmente o princípio da equidade, apresentou, de uma maneira geral, melhores resultados. Todavia, conclui-se que o sistema Coremas-Mãe D'Água, utilizando apenas sua sub-bacia de contribuição e o volume acumulado acima da cota de ligação, só poderia atender, com garantia satisfatória, 18,2% dos pedidos de outorga a ele destinados.
3. Caso fossem excluídas do sistema as demandas de irrigação dos perímetros a montante (Piancó II, III e Piancó-Brotas), essa diminuição contribuiria para o aumento na garantia de atendimento de pelo menos cinco demandas do sistema (incluído tanto as diretamente ligadas a ele quanto as de jusante). Portanto, esta análise demonstrou a importância de se analisar o sistema integrado considerando, para a concessão de novas outorgas, as retiradas a montante do sistema.
4. Caso fosse reduzida a demanda de abastecimento a jusante em  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , esse ganho acrescentaria poucas mudanças no quadro geral de atendimento às demandas para o sistema Coremas-Mãe D'Água, visto que apenas uma demanda com falha de atendimento atingiria os 90% necessários para ser classificada como demanda satisfeita.

5. Caso fosse retirada a demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s, diretamente ligada ao sistema Coremas-Mãe D'Água, correspondente à irrigação das Várzeas de Souza, não haveria grandes interferências sobre o potencial de atendimento do sistema às demais demandas, visto que apenas a demanda de irrigação em perímetros ganharia incremento de garantia. Este fato foi observado, porque a ordem de prioridade escolhida coloca a demanda de irrigação em perímetros como uma das últimas a serem atendidas, quando o reservatório já apresenta várias falhas de atendimento. Logo, apesar de a demanda por retirada de água ser relativamente alta, não colabora com a melhoria de atendimento das demais demandas do sistema. Caso a ordem de prioridade fosse modificada, provavelmente, esta retirada traria maiores benefícios ao sistema.
  
6. De uma maneira geral, percebeu-se que, apesar de o sistema Coremas-Mãe D'Água tratar-se da maior reserva hídrica do estado, deve-se ter bastante cautela, no tocante a retiradas de água para atendimento à outorga. Portanto, recomenda-se uma reavaliação das outorgas já concedidas e estudos mais rigorosos com relação à concessão de novas outorgas a partir do sistema.

## **DEMANDA HÍDRICA FUTURA**

### **Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água**

1. Com relação ao atendimento das demandas futuras dos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'Água, notou-se que quase nenhuma modificação, tanto no volume armazenado quanto no número de falhas de atendimento, foi observada nestes reservatórios, para os horizontes 2017 e 2027, se comparados com o estudo das demandas atuais.
  
2. Dos vinte e um reservatórios analisados, pelo menos cinco (um a menos que quando analisadas as demandas atuais), correspondendo a 23,8%, não se mostraram capazes de atender a todos os pedidos de outorga a que estavam destinados, de forma que pudessem garantir um atendimento contínuo em pelo menos 90% do tempo. Este fato ocorre devido ao reservatório Poço Redondo haver apresentado falhas de atendimento durante o estudo das demandas hídricas

atuais, pois trabalhava com sua capacidade atual. Nesta análise, entretanto, o reservatório pôde atender a todas às suas demandas, visto que considerou-se aqui a capacidade de armazenamento constante em seu projeto.

3. O reservatório Canoas, também considerado com sua capacidade atual, no estudo das demandas atuais; e com o projeto concluído, neste estudo de projeção futura, pôde atender melhor as demandas a ele associadas, deixando maior reserva para novas demandas.
4. Atenção especial deve ser dada ao reservatório Jatobá II, pois o atendimento à demanda, para o horizonte 2027 ficou no limite mínimo estabelecido pelo Decreto que regulamenta a outorga na Paraíba (90%).
5. Pôde-se concluir que, de uma maneira geral, de acordo com a série histórica de vazões afluentes, a maioria dos reservatórios analisados encontrou-se apta a atender acréscimos de demanda futura, dentro de um horizonte de 10 e 20 anos, apenas utilizando suas capacidades, desde que consideradas as condições expostas neste tópico.

## **DEMANDA HÍDRICA DE GERENCIAMENTO ALTERNATIVO**

### **Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e jusante**

1. Observou-se, neste estudo, que, o fato de o sistema Coremas-Mãe D'Água iniciar com apenas 50% de sua capacidade, mostrou ter pouca interferência sobre o atendimento das demandas do sistema, haja vista a rapidez com que ele atingiu sua capacidade máxima.
2. Após a transposição de 10 m<sup>3</sup>/s, todas as demandas outorgadas do sistema Coremas-Mãe D'Água, que antes apresentavam falhas de atendimento, passaram a ser atendidas com 100% de garantia.
3. Com relação às demandas diretamente ligadas ao sistema Coremas-Mãe D'água, o percentual de atendimento, passou de 20% de demandas atendidas com

garantias satisfatórias, antes da transposição, para 100%, após a transposição (incremento de 80 pontos percentuais).

4. Com relação às demandas a jusante do sistema Coremas-Mãe D'Água, o percentual de atendimento que, antes da transposição, era de 16,67%, chegou a 100%, após transposição, correspondendo a uma melhoria de 83,33 pontos percentuais.
5. Concluiu-se, pois, que a transposição de 10 m<sup>3</sup>/s do Rio São Francisco até a Bacia do Piancó traria benefícios ao sistema, no tocante ao atendimento das demandas que apresentaram falhas, e, também, no que tange à sustentabilidade hídrica dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água.

#### **9.1.2.2 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM RESERVATÓRIOS EM SÉRIE**

##### **Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água**

Este cenário apresentou o comportamento dos reservatórios envolvidos no estudo, considerando a disponibilidade hídrica de cada um e a possibilidade de transferência de água, quando ligados em série. As principais conclusões a respeito desse cenário estão descritas a seguir.

1. Dos vinte e quatro reservatórios analisados, dezessete apresentaram créditos de água (71%), que poderiam ser disponibilizados para atendimento a novas demandas; cinco apresentaram déficit hídrico (21%), necessitando receber contribuição de outros reservatórios, e dois (8%), apesar de atenderem às suas próprias demandas, estavam no limite, não podendo ceder água;
2. Nenhum dos cinco reservatórios com déficit hídrico pôde receber contribuição, ou porque não possuía reservatórios a montante, para realizar a transposição, ou porque estavam a jusante de outros também com déficit;

3. Dos dezessete reservatórios com crédito de água, pelo menos cinco possuíam reservatórios a montante. No entanto, como não tinham problemas de falhas de atendimento, não necessitaram de receber água;
4. Nos reservatórios com crédito de água, as vazões médias disponíveis foram limitadas pela garantia mínima de atendimento 90%.

### **Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e jusante**

1. Todos os reservatórios de montante com crédito puderam ceder água para o sistema Coremas-Mãe D'Água, gerando uma vazão disponível de 2,52 m<sup>3</sup>/s. Além das possíveis contribuições, o sistema também poderia contar com os vertimentos, caso existam, de todos os reservatórios a montante.
2. Desconsiderando os vertimentos, a vazão disponível dos reservatórios a montante seria capaz de suprir 33,47% do déficit hídrico do sistema, que é de 7,53 m<sup>2</sup>/s.
3. Caso fossem considerados os vertimentos, a vazão total disponibilizada pelos reservatórios de montante seria suficiente para atender a todas as demandas do sistema Coremas-Mãe D'Água.
4. A redução na vazão destinada ao abastecimento, a jusante, em 0,5 m<sup>3</sup>/s implicaria numa diminuição de 15,83% no déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água, em relação ao cenário com demandas totais, desde que considerados os vertimentos, e de 4,91%, caso fossem excluídos os vertimentos. Portanto, em ambos os casos, a redução da vazão de abastecimento traria pouca influência sobre os déficits hídricos do sistema.
5. Com a retirada da demanda do perímetro irrigado de Sousa, o déficit hídrico do sistema Coremas-Mãe D'Água seria zero se incluídos os vertimentos, e 53,12% menor em relação ao cenário com todas as demandas, desde que desconsiderados os vertimentos. Logo, neste caso, a retirada das demandas para

irrigação do perímetro de Sousa tem influência significativa sobre os déficits do sistema Coremas-Mãe D'Água.

### **9.1.2.3 CENÁRIO DE DEMANDA HÍDRICA COM RESERVATÓRIOS EM PARALELO**

Neste cenário foi estudado o comportamento dos reservatórios da bacia do Rio Piancó, considerando a disponibilidade hídrica de cada um, e a possibilidade de transferência de água entre reservatórios paralelos. As principais conclusões extraídas desse cenário são enumeradas a seguir.

#### **Reservatórios a Montante do Sistema Coremas-Mãe D'Água**

1. Dos cinco reservatórios com déficit hídrico, no CDHRS, três poderiam ter suas falhas de atendimentos supridas por reservatórios em paralelo, e dois apresentaram uma vazão requerida maior que a vazão disponibilizada pelos reservatórios vizinhos.
2. Os déficits hídricos totais dos reservatórios somaram  $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ , ou seja,  $72,92\%$  das vazões disponibilizadas pelos reservatórios vizinhos. No entanto, apenas  $20,88\%$  dessas vazões disponibilizadas puderam efetivamente ser utilizadas pelos reservatórios com falhas de atendimento às demandas.

#### **Reservatórios Coremas-Mãe D'Água e jusante**

1. Considerando o vertimento e a vazão total remanescente, após atendimento dos reservatórios a montante, observou-se que todo o déficit hídrico do sistema é suprido. Retirando-se os vertimentos, os reservatórios a montante atenderiam a  $32,08\%$  do déficit hídrico do Sistema Coremas-Mãe D'Água, ou seja,  $1,29\%$  a menos que na análise dos reservatórios em série.
2. Caso fossem desconsiderados os vertimentos, e reduzida a demanda de abastecimento a jusante de Coremas-Mãe D'Água em  $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ , a vazão disponível dos reservatórios de montante atenderia apenas a  $1,67\%$  a mais dos

déficits hídricos do sistema, em relação às demandas totais. Se incluídos os vertimentos, a redução da demanda de abastecimento não teria efeito, visto que, mesmo com todas as demandas, o déficit hídrico do sistema é totalmente suprido pela vazão disponibilizada dos reservatórios de montante.

3. Se retirada do Sistema Coremas-Mãe D'Água a demanda de 4,0 m<sup>3</sup>/s, para irrigação do perímetro de Sousa, os déficits hídricos seriam totalmente atendidos pelos reservatórios a montante, independentemente de se realizar a análise em série ou em paralelo, e desde que computados os vertimentos. No entanto, desconsiderando-se os vertimentos, o percentual de atendimento aos déficits hídricos seria de 60,42%, correspondente a um aumento de 28,34%, em relação à análise, incluindo todas as demandas.

## **9.2 RECOMENDAÇÕES**

Uma nova proposta de processos de outorga em sistemas de reservatórios foi o objetivo principal deste estudo, que teve a Bacia do Rio Piancó como objeto. Algumas recomendações podem ser sugeridas para futuros trabalhos, com o intuito de expandir o conhecimento, tanto no tocante à bacia estudada quanto ao modelo proposto. A seguir estão enumeradas algumas dessas recomendações.

1. Calcular os indicadores de desempenho dos reservatórios (Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade), a fim de verificar o comportamento de cada reservatório ao atender as demandas hídricas outorgadas.
2. Verificar os efeitos do uso dos Reservatórios Coremas e Mãe D'Água, separadamente e com transferências unilateral e bilateral, sobre o atendimento às demandas outorgadas.
3. Analisar outros cenários possíveis de outorga, levando-se em consideração aspectos sociais, ambientais e econômicos na determinação da prioridade de atendimento, dentro de uma ótica multicriterial.

4. Aplicar o modelo proposto neste estudo em outras bacias hidrográficas.
  
5. Como outorga e cobrança são dois instrumentos que se complementam, em um estudo mais aprofundado, recomenda-se a incorporação da cobrança como ferramenta de auxílio à outorga, principalmente levando-se em conta a possibilidade de outorga variável, sugerida neste trabalho.





**Referências Bibliográficas**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

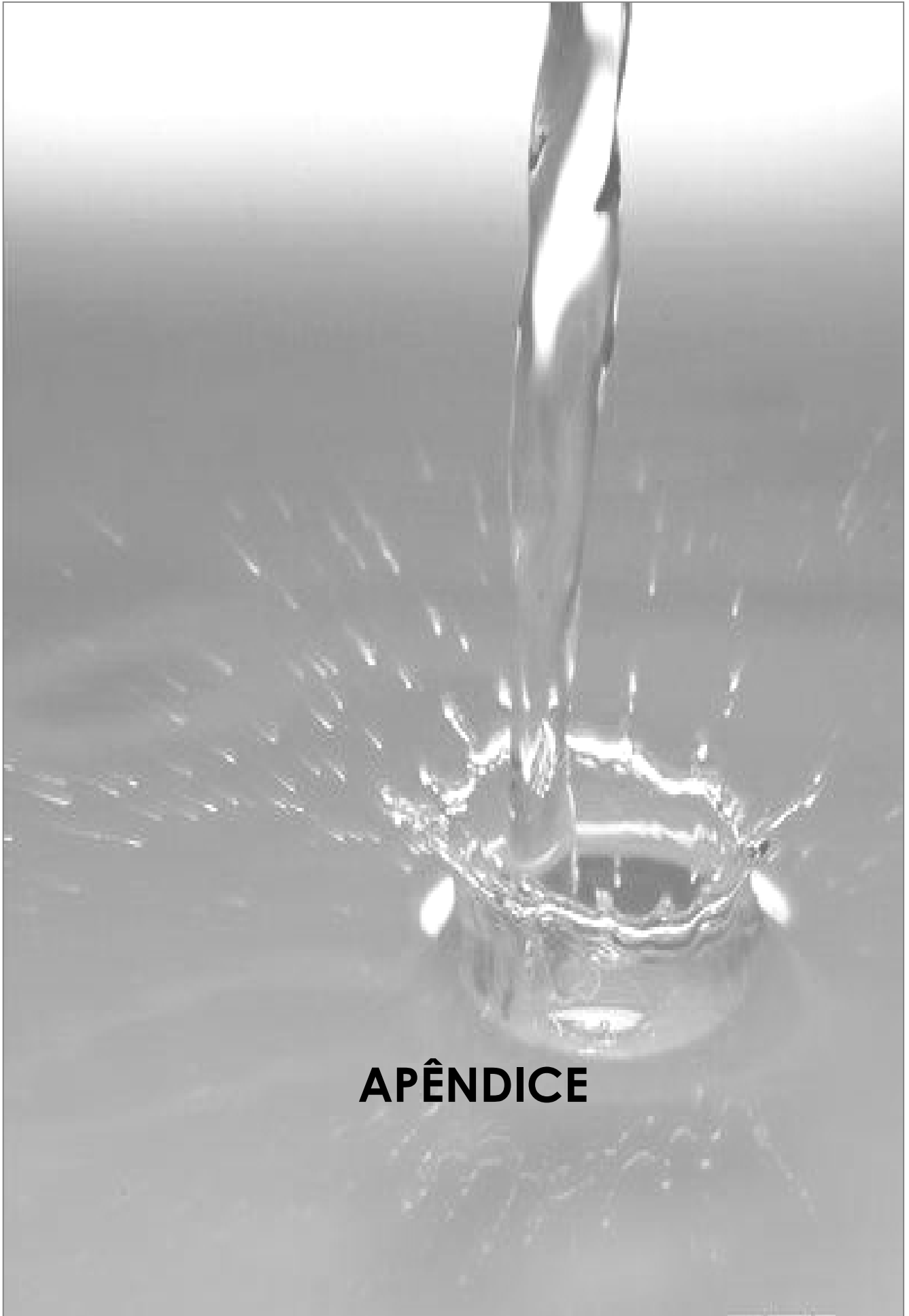
- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, PB – AESA (2002).
- ALMEIDA, C. N.; BRAGA, A. C. F. M. ; ROSA, M. S. M. (2003). *O sistema de gestão de outorgas do Estado da Paraíba*. Cd-Rom do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba – PR.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2005). *Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos – Diretrizes e Prioridades*. Superintendência de Outorga e Cobrança. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso: 09/10/2006
- ARNÉZ, F. A. (2002). *Análise de Critérios de Outorga do Uso da Água na Bacia do Rio Santa Maria – RS*. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre – RS.
- AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M. F.; BALTAR, A. M.; PORTO, R. (2003). *Sistema de suporte à decisão para outorga de direitos de uso da água no Brasil: uma análise da situação brasileira em alguns estados*. Bahia Análise & Dados. Salvador – BA. v.13, n. especial, p. 481-496.
- BALLESTERO, E.(2004) *Inter-basin water transfer public agreements: a decision approach to quantity and price*. Water resources management, v. 18: 75-88.
- BAUER, C. J. (1997). *Bringing water markets down to earth: the political economy of water rights in Chile, 1976-95*. World Development, v. 25, n. 5, p. 639-656.
- BRAGA, A. C. F. M.; DINIZ, L. S; SILVA JÚNIOR, O. B.; NOGUEIRA, G. (2004) *Custos operacionais dos processos de outorga no Estado da Paraíba*. Cd-Rom do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luís – MA.
- CÂMARA, E. P (2000). *Otimização da água do reservatório Coremas Mãe D'água para múltiplos usos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba - Pós-Graduação em Engenharia Civil. Campina Grande – PB.
- CÂMARA, A. C. F. C.; LANNA, A. 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 (PB)*. Cd-Rom do VI Simpósio de recursos Hídricos do Nordeste. Maceió – AL.
- CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. (2002). *Economia dos recursos hídricos*. Edefba. 458 p. Salvador - BA

- CELESTE, A. B.; CURI, W. F.; CURI, R. C. (2006). *Derivação de Regras para a Operação de Reservatórios Perante Incertezas*. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravata - PE
- CORREIA, F. N (1999) *Water resources management in Portugal: an overview based on the eurowater country*. Report Water Resources Management Brazilian and European Trends and Approaches.
- COX, W. E. (1995). *Maintenance of water rights over time under model state water Code*. Journal of Water Resources Planning and Management. v.121, n.6, p. 418-422.
- CRUZ, J. C. (2001). *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. (2005). *Otimização e Simulação Comparativa de Cenário de Outorga*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Vol. 10, nº 3.
- CRUZ, J. C. *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisa Hidráulica (IPH). Porto Alegre - RS
- CURI, R. C.; CURI, W. F.; CELESTE, A. B. (1999). *Método de Otimização para Operação de Reservatórios (ORNAP)*. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - PB
- DELLAPENNA, J. W. (1994). *The regulated riparian version of the ASCE model water code: the third way to allocate water*. Water Resources Bulletin. v. 30, n.2, p. 197-204.
- FREITAS, M. A. V.; SANTOS, A. H. M. (1999). *Importância da Água e da Informação Hidrológica. O estado das Águas no Brasil*. Organizado por Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas. Brasília. ANEEL, SIH, MMA, SRH, MME, 334p.
- GISLER, C. V. T.; SILVA, L. M. C.; LOPES, A. V. (2005) *Outorga para Piscicultura em Tanques-Redes*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB
- HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D.M.; PETTS, G. E. (2000). *Classification of river regimes: a context for hydroecology*. In: Hydrological Processes. Ed. John Wiley & Sons, ltd. Vol. 14, p. 2831-2848
- HUBERT, G.; PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L.(2002) *Os Novos Instrumentos de Planejamento do Sistema Francês de Gestão de Recursos Hídricos I: I – Apresentação e Análise*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Vol.7, Nº2.
- KETTELHUT, J. T. S.; RODRIGUEZ, F. A.; GARRIDO, R. J.; PAIVA, F.; NETO, O. C.; RIZZO, H. (1999). *Cobrança e outorga pelo uso da água*. In: *O Estado das Águas no Brasil – 1999. Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos*. Brasília, DF. ANEEL, SIH; MMA, SRH; MME, 334p.

- KOCH, E. (1996). *A watershed for apartheid*. *New Scientist*. 13 April. P. 12-13. Porto Alegre.  
Disponível em: <http://archive.newscientist.com/archive>.
- LABADIE, J. W. *et al.* (1984). *Network analysis of raw supplies under complex water rights and exchanges: Documentation for program MODSIM3*. Colorado Water Resources Institute, Fort Collins, Colorado, EUA.
- LABSID (2002) – Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão – USP. ACQUANET – *Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos – manual do usuário*.
- LANNA, A. E. (1997). *Análise de Sistemas e Engenharia dos Recursos Hídricos*. In: *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Organizado por Rubem La Laina Porto. Porto Alegre. Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 15-41.
- LANNA, A. E.; PEREIRA, J. S.; SILVA, L. M. (1997). *Análise de critérios de outorga de direitos de uso da água*. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. p. 145-151.
- LEE, T. R.; JURAVLEV, A. S. (1998). *Los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, n° 6. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Nações Unidas.
- LIMA, C. A. G. (2004). *Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Piancó, situada no Estado da Paraíba*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 272p.
- LOBO, G. A.; KIANG, C. H.; SILVA, F. P. (2005) *Vazões Mínimas para Outorga: a necessidade de incluir o fator hidrogeológico nas equações de regionalização de  $Q_{7,10}$* . Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB
- MAIA, J. L.; MAUAD, F. F.; BARBOSA, A. A. (2005) *Estabelecimento de Vazões de Outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a utilização de Sazonalidade*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB
- MEDEIROS, M. J. (2000). *Avaliação da vazão referencial como critério de outorga dos direitos de usos das águas na bacia do rio Paraopeba*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio-Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte - MG
- MEDEIROS, M. J. e NAGHETTINI, M. (2001). *Análise da viabilidade de aplicação de um fator de correção anual para o critério de vazão de outorga adotado no estado de Minas Gerais*. Anais Virtual do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos de Língua Oficial Portuguesa. Aracajú-SE.

- MOLLE, F.; CADIER, E. (1992). *Manual do Pequeno Açude*. Recife – PE, SUDENE – DPG, PRN-APR, p. 149-185.
- MOSTERT, E. (1999) *Water resources management in the Netherlands*. Water Resources Management Brazilian and European Trends and Approaches.
- OLIVEIRA, E. F. C. C. DE. (1998) *Simulação da Operação e Estimativa dos Benefícios Sócioeconômicos dos Reservatórios Coremas e Mãe D'Água Sujeitos a Múltiplos Usos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Pós- Graduação em Engenharia Civil. Campina Grande – PB.
- PAIVA, A.E. D. B. (2001). *Simulações Hidrológicas na bacia do rio Gramane como subsídio ao processo de outorga*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba .Pós- Graduação em Engenharia Civil. Campina Grande – PB, 136p.
- PEREIRA, J. S.(1996). *Análise de critérios de outorga e cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio dos Sinos, RS. Porto Alegre*. Dissertação de Mestrado. Pós- Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 108p.
- PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. (1996). *Análise de critérios de outorga de uso da água*. Anais do 3º Simpósio de Recursos hídricos do Nordeste. Vol. 1, 335-342. Salvador, Bahia.
- PIRES, C. L. F. (1996) *A outorga de uso na gestão de recursos hídricos*. Anais do 3º Simpósio de Recursos hídricos do Nordeste. Vol. 1, 319-325. Salvador, Bahia.
- PERH (2006). *Plano Estadual de Recursos Hídricos – PB*. Resumo Executivo e Atlas
- POPULATION REFERENCE BUREAU (1997). *La Dinámica entre la Población y el Medio Ambiente*, Washington D.C.. In. Demanboro, A. C. e Mariotoni, C. A.. *O Conceito de Escala e o Desenvolvimento Sustentável, Implicações sobre os Recursos Hídricos e Energéticos*. Revista Brasileira de Energia, Vol. 7 nº 2, Rio de Janeiro, 1999.
- RAMOS, P. R. (2005). *Modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão: estudo de caso da bacia hidrográfica de rio Cubatão do Sul*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis - RS
- RIBEIRO M. M. R. (2000). *Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre – RS, 200p.
- SANTANA, A. G.; BARROS, L. M. A.; SILVA, F. F. (2005). *Avaliação de Métodos para Determinação da Disponibilidade Hídrica para fins de Outorga no Triângulo Mineiro – Iturama: Estudo de Caso do Ribeirão Tronqueira*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB

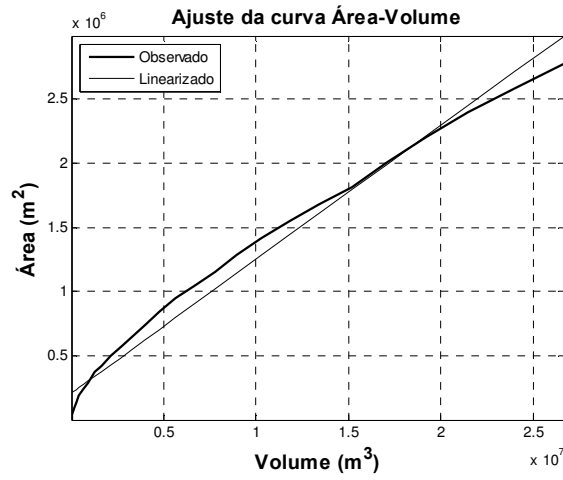
- SCIENTEC (1997). Associação para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas*. SEPLAN.
- SCIENTEC (1997b), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacia do Piancó e Alto Piranhas*. SEPLAN, v. 7, 339p.
- SECTMA (2006). Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente - PB
- SERRA, P. C. (2002). *Evolução do Direito Português do Ambiente nos Últimos 25 Anos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 7, nº 4.
- SETTI, A. A. (2001). *Gestão de Recursos Hídricos. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 3a ed. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Água, p. 41-88.
- SIH/ANEEL (1999). *Informações Hidrológicas Brasileiras*. ANEEL, Brasília.
- SILVA, L. M. C.; LANNA, A. E. L. (1997). *Critérios de outorga de uso da água com base em modelagem agro-hidrológica: metodologia e aplicação (Bacia do rio Branco – BA)*. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. p. 137-142.
- SIMON, B.; ANDERSON, D. (1990). *Water auctions as an allocation mechanism in Victoria, Australia*. Water Resources Bulletin. v.26, n.3, p. 387-395.
- WURBS, R. A. (1995). *Water Rights in Texas*. Journal of Water Resources Planning and Management. v.121, n.6, p. 447-454.
- WURBS, R. A.; WALLS, W. B. (1989). *Water rights modeling and analysis*. Journal of Water Resources Planning and Management. v.115, n.4, p. 416-430.



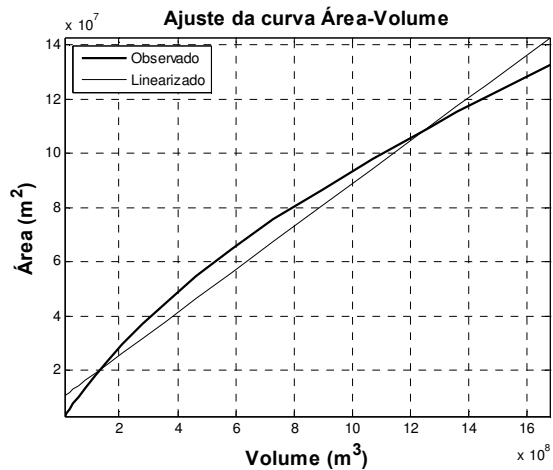
**APÊNDICE**

## APÊNDICE A

As Figuras A1 e A2 apresentam, respectivamente, os ajustes das curvas área  $\times$  volume do reservatório Serra Vermelha I e do sistema Coremas-Mãe D'Água na Bacia do Piancó que foram utilizados para o cálculo da evaporação através do programa de outorga proposto neste estudo.



**Figura A1** – Ajuste da curva Área $\times$ Volume do reservatório Serra Vermelha I



**Figura A2** – Ajuste da curva Área $\times$ Volume do sistema CoremasMãeD'água