

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**OUTORGA HÍDRICA SOB A ÓTICA DA ANÁLISE MULTICRITERIAL.  
ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO COREMAS-MÃE D'ÁGUA – PB.**

**ROBERTA LIMA BARBOSA**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**ABRIL DE 2008**

**ROBERTA LIMA BARBOSA**

**OUTORGA HÍDRICA SOB A ÓTICA DA ANÁLISE  
MULTICRITERIAL.**

**ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO COREMAS-MÃE D'ÁGUA – PB.**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia de Recursos Hídricos, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**ORIENTADORES: WILSON FADLO CURI**

**ROSIRES CATÃO CURI**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**ABRIL DE 2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B234o

2008 Barbosa, Roberta Lima.

Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial: estudo de caso: reservatório Coremas-Mãe D'Água - PB / Roberta Lima Barbosa. — Campina Grande, 2008.

142f. : il.

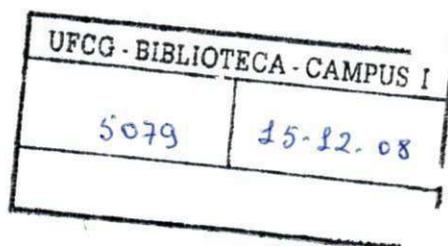
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rosires Catão Curi.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Outorga. 3. Sistema de Apoio à Decisão. 4. Análise Multicriterial. I. Título.

CDU – 556.18(043)



Roberta Lima Barbosa

**Outorga Hídrica sob a Ótica da Análise Multicriterial.  
Estudo de Caso: Reservatório Coremas-Mãe D'Água – PB.**

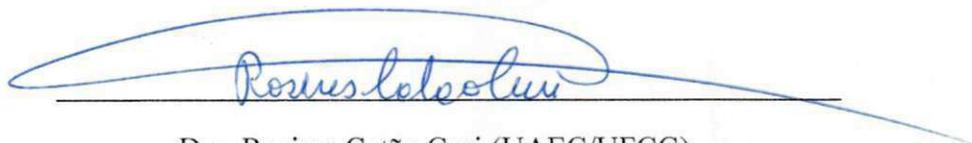
Aprovada em \_\_\_\_\_



---

Dr. Wilson Fadlo Curi (DF/UFCG)

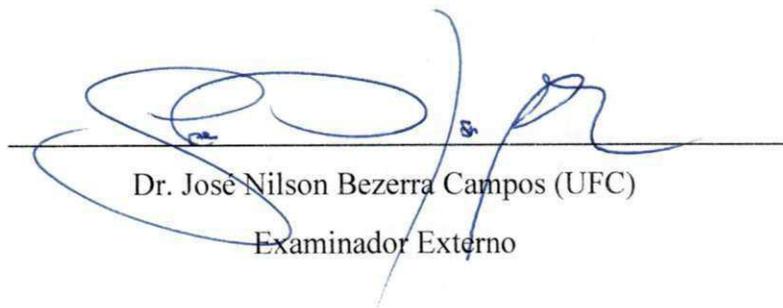
Orientador



---

Dra. Rosires Catão Curi (UAEC/UFCG)

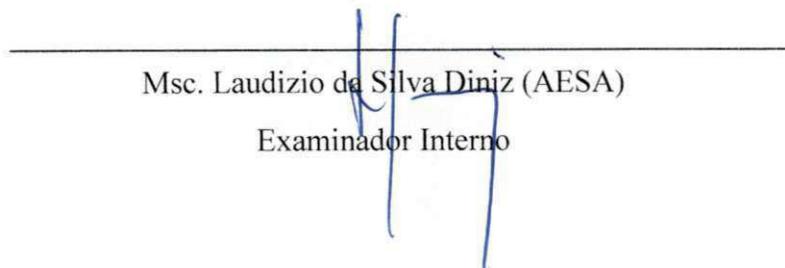
Orientadora



---

Dr. José Nilson Bezerra Campos (UFC)

Examinador Externo



---

Msc. Laudizio de Silva Diniz (AESA)

Examinador Interno

**Campina Grande-PB**

**Abril de 2008**

*A Deus, aos meus amados pais,  
Maria do Carmo e Florisvaldo e aos  
meus queridos irmãos Adriana,  
Andréa, Daniel e Flávia, DEDICO.*

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus por estar ao meu lado, guiando e iluminando meu caminho, em todos os momentos da minha vida.*

*Aos professores Wilson Fadlo Curi e Rosires Catão Curi pela sábia orientação e disposição em me atender em todas as etapas desta pesquisa.*

*Ao meu pai, Florisvaldo, pelo generoso amor que me dedica, e a minha mãe, Maria do Carmo, pelo apoio incondicional em todas as horas.*

*A Wagner, por todo amor e carinho dedicado durante mais uma etapa da minha vida.*

*À minha irmã Andréa, pela grande ajuda em todas as fases deste trabalho, aos meus irmãos Adriana, Daniel e Flávia e aos meus sobrinhos Beatriz, Ana Luísa, Levi e Arthur pelo suporte afetivo e emocional.*

*A Valterlin pelas horas de auxílio e valiosa colaboração, indispensáveis na realização desta pesquisa.*

*Aos meus amigos Isabel, Fernanda e Fonseca pelos momentos compartilhados durante o curso de mestrado.*

*Às minhas grandes amigas Mirella, Cleide e Isabelle por estarem sempre presentes na minha vida em todos os momentos.*

*À minha turma de mestrado pelas horas de estudo incomum.*

*A todos os professores da Área de Recursos Hídricos, pela experiência transmitida e pelos novos conhecimentos adquiridos.*

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

*A secretária da coordenação do curso, Josete, pelo apoio na parte administrativa.*

*Ao programa da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro durante o curso.*

*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, no caso da Paraíba é a Lei 6.308/96, e em decretos. No entanto, nota-se que a outorga não é um instrumento de fácil implementação e administração devido às demandas crescentes e interesses conflitantes. Além disso, atualmente, os estudos prévios para concessão de outorgas existentes na maioria dos estados brasileiros partem de uma análise meramente quantitativa dos recursos hídricos disponíveis. Entretanto, sabe-se que os problemas de disponibilidade hídrica são cada vez maiores e muitas bacias hidrográficas já se encontram com pedidos de outorga limitados. Em um futuro próximo a maioria das outorgas precisará ser revista e as solicitações serão maiores que a disponibilidade. Logo, as análises de pedidos de outorgas deverão ser feitas com base em critérios mais restritivos levando em consideração aspectos importantes como ambientais, econômicos, culturais e sociais e não apenas os quantitativos. Uma análise bastante completa neste sentido é a análise multicriterial ou multiobjetivo que apresenta um conjunto de métodos para permitir o tratamento simultâneo de vários aspectos em um processo de tomada de decisão. Dentro desse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a influência que o uso de métodos multicriteriais tem no procedimento da concessão de outorga de uso da água visando auxiliar à tomada de decisão na escolha da melhor ordem de prioridades de atendimento às demandas hídricas do Sistema Curema-Mãe D'Água. Foram analisadas 11 alternativas e 8 critérios através do método PROMETHEE para verificação da melhor ordem de prioridade das demandas a serem outorgadas. Com base nos resultados obtidos estudou-se a garantia no atendimento dessas demandas e o comportamento do sistema Curema -Mãe D'Água ao longo do tempo. Concluiu-se que a utilização de metodologias multicriteriais são viáveis para auxiliar a tomada de decisão na análise de pedidos de outorgas em bacias hidrográficas que visem adequar a alocação de água às prioridades de atendimento atribuídas pelos órgãos gestores e colegiados, a exemplo da AESA, CERH, Comitês de bacia, etc., ou estabelecidas em Planos Diretores no intuito de fortalecer ou proteger certas atividades inerentes e importantes da região.

**Palavras-chave:** Outorga, Sistema de Apoio à Decisão, Análise Multicriterial.

## ABSTRACT

The water right grant is a fundamental and important instrument to water resources management, as it ensures the quantity and quality control of water uses, as well as the rights of access to the resource. In Brazil, water right grant is ruled by the Federal Law 9.433/97, by specific state laws for the establishment of policies for a system management, such as Paraíba State Law 6.308/96, and by decrees. However, the water right grant is not an instrument of easy implementation or administration because of the increasing demands and conflicting water users' interests. Moreover, current water right grant studies existing in most of Brazilian states are based on a purely quantitative analysis of the available water resources. However, it is known that the problems of water scarcity are increasing and many river basins have limited the water right grants. In the near future, most of water right grants will have to be reviewed as the water requests are greater than the water availability. Therefore, besides mere quantity, the water right grant analyses should be based on more restrictive criteria, which take into account aspects such as environmental, economic, cultural and social. A rather complete analysis in this sense can be performed by the multicriterial or multiobjective analysis that present a set of methods to allow the simultaneous handling of several aspects in a decision-making process. In this context, the objective of this study is to examine the influence on the decision making process regarding to the application of a multicriteria method on the best water users rank choice for water right grants concession for the Curema-Mãe D'Água reservoirs system. The PROMETHEE method was used to examine and rank 11 alternatives of water right grants for different water users, which were based on de judgment of 8 criteria. Based on the results, a study of the water demands attendance reliability and the dynamic behavior of the Curema-Mãe D'Água system of reservoirs were performed. It was concluded that multicriterial methods can help decision makers to rank river basin water right grants concession in order to adequate water allocation to water users demands in terms of the priorities of the management or collegiate related sectors, as, for instance, the AESA, CERH, river basin committee, and so on, the ones established in Director Plans or to protect or force the development of certain water related activities that are import for the region.

**Keywords:** Right to use water, Decision Support System, Multicriterial Analysis.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Quadros.....	xv
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b>	
1 – INTRODUÇÃO. E OBJETIVOS.....	01
1.1 – INTRODUÇÃO.....	01
1.2 – OBJETIVOS.....	02
1.2.1 – Objetivo Geral.....	02
1.2.2 – Objetivos Específicos.....	02
1.3 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	03
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1 – SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO.....	04
2.2 – ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	05
2.2.1 – Principais Metodologias de Análise Multicritério.....	08
2.2.2 – Experiências Realizadas com Métodos Multicritérios.....	10
2.2.3 – Análise Multicritério como Apoio à Decisão no Processo de Outorga de Usos da Água.....	13
2.3 – DEFINIÇÃO DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA.....	14
2.3.1 – Tipos de Outorga.....	14
2.4 – O PROCESSO DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA NO BRASIL.....	15
2.4.1 – Código das Águas.....	15
2.4.2 – A Lei 9433/97.....	16
2.5 – LEGISLAÇÃO ESTADUAL.....	18
2.5.1 – A Outorga no Estado da Paraíba.....	18
2.6 – EXPERIÊNCIAS EM OUTORGA DO USO DA ÁGUA.....	21

**CAPÍTULO III – DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA E DO SISTEMA ESTUDADO**

3 – A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ.....	25
3.1 – LOCALIZAÇÃO.....	25
3.2 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	25
3.2.1 – Forma da Bacia.....	25
3.2.2 – Solos.....	27
3.2.2.1 – Capacidade de uso do solo.....	29
3.2.3 – Relevo.....	29
3.2.4 – Vegetação.....	30
3.2.5 – Climatologia.....	30
3.2.5.1 – Temperatura.....	30
3.2.5.2 – Insolação.....	31
3.2.5.3 – Umidade relativa do ar.....	31
3.2.5.4 – Velocidade do vento.....	32
3.2.5.5 – Evapotranspiração.....	32
3.2.5.6 – Precipitação.....	32
3.3 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO.....	33
3.3.1 – O Sistema Coremas-Mãe D’Água.....	33

**CAPÍTULO IV – MODELOS UTILIZADOS**

4 – MODELOS UTILIZADOS.....	36
4.1 – O MÉTODO PROMETHEE.....	36
4.1.1 – Generalidades.....	36
4.1.2 – Descrição do Método PROMETHEE.....	37
4.1.2.1 – Matriz de Avaliação.....	39
4.1.2.2 – Funções de Preferências.....	40
4.2 – MODELO LINEAR DE OTIMIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE PEDIDO DE OUTORGA.....	44
4.2.1 – Descrição do Modelo de Outorga.....	44
4.2.2 – Dados do Modelo.....	45
4.2.3 – Função Objetivo do Modelo.....	46
4.2.4 – Restrições do Modelo.....	46
4.2.5 – Fluxograma do Modelo de Outorga.....	51

## CAPÍTULO V – METODOLOGIA

5 METODOLOGIA.....	52
5.1 – METODOLOGIA UTILIZADA PARA O MÉTODO PROMETHEE.....	54
5.1.1 – Definição dos Critérios Analisados.....	54
5.1.2 – Definição das Alternativas.....	54
5.1.2.1 – Irrigação.....	54
5.1.2.2 – Piscicultura.....	57
5.1.3 – Definição dos Atributos.....	59
5.1.3.1 – Atributos segundo Objetivos Econômicos.....	61
5.1.3.2 – Atributos segundo Objetivos Sociais.....	64
5.1.3.3 – Atributos segundo Objetivos Ambientais.....	65
5.1.4 – Dados Utilizados.....	69
5.1.4.1 – Pesos e Funções de Preferências.....	73
5.1.5 – Implementação do Método PROMETHEE.....	75
5.2 – METODOLOGIA UTILIZADA PARA O MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE OUTORGA.....	77
5.2.1 – Dados do Reservatório.....	77
5.2.1.1 – Curvas Cota x Área x Volume.....	77
5.2.1.2 – Demandas Outorgadas no Sistema Coremas-Mãe D’Água e a jusante dele.....	77

## CAPÍTULO VI – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	81
6.1 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE MULTICRITERIAL.....	81
6.1.1 – Ordenação Segundo os Aspectos Econômico e Ambiental.....	82
6.1.2 – Ordenação Segundo os Aspectos Sociais e Econômicos.....	86
6.1.3 – Ordenação Segundo os Aspectos Ambientais e Sociais.....	87
6.1.4 – Ordenação com Pesos Equilibrados para os Critérios.....	89
6.2 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE OUTORGA.....	89
6.2.1 – Outorga Priorizando o Aspecto Econômico.....	90
6.2.2 – Outorga Priorizando o Aspecto Social.....	99
6.2.3 – Outorga Priorizando o Aspecto Ambiental.....	106
6.2.4 – Outorga Priorizando Pesos Equilibrados para os Critérios.....	114

**CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	123
7.1 – CONCLUSÕES.....	123
7.2 – RECOMENDAÇÕES.....	125
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICES</b>	
APÊNDICE A.....	135

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1 -</b>	Escolha da alternativa mais adequada.....	06
<b>Figura 3.1 -</b>	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.....	26
<b>Figura 3.2 -</b>	Imagens do Sistema Coremas - Mãe D'Água.....	33
<b>Figura 3.3 -</b>	Esquema do Sistema à jusante do reservatório Coremas-Mãe D'Água.....	34
<b>Figura 3.4 -</b>	Imagens do Canal da Redenção.....	35
<b>Figura 4.1 -</b>	Esquema dos casos de ocorrência de déficit hídrico e vertimento.....	47
<b>Figura 4.2 -</b>	Linearização da curva área-volume.....	49
<b>Figura 4.3 -</b>	Fluxograma do modelo de outorga.....	51
<b>Figura 5.1 -</b>	Fluxograma da Metodologia Utilizada.....	53
<b>Figura 5.2 -</b>	Critérios; Atributos e Alternativas.....	60
<b>Figura 5.3 -</b>	Organograma de funcionamento do Método PROMETHEE.....	76
<b>Figura 6.1 -</b>	Porcentagem das alternativas mais preferíveis.....	82
<b>Figura 6.2 -</b>	Preferência no ranking de acordo com o critério econômico.....	84
<b>Figura 6.3 -</b>	Preferência no ranking de acordo com o critério social.....	87
<b>Figura 6.4 -</b>	Preferência no ranking de acordo com o critério ambiental.....	88
<b>Figura 6.5 -</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 1 quando se prioriza o aspecto econômico.....	91
<b>Figura 6.6 -</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza o aspecto econômico.....	92
<b>Figura 6.7 -</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza o aspecto econômico.....	93
<b>Figura 6.8 -</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza o aspecto econômico.....	94
<b>Figura 6.9 -</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza o aspecto econômico.....	95
<b>Figura 6.10 -</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza o aspecto econômico.....	95

<b>Figura 6.11 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza o aspecto econômico.....	96
<b>Figura 6.12 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza o aspecto econômico.....	96
<b>Figura 6.13 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza o aspecto econômico.....	97
<b>Figura 6.14 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza o aspecto econômico.....	98
<b>Figura 6.15 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza o aspecto econômico.....	98
<b>Figura 6.16 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza o aspecto social.....	100
<b>Figura 6.17 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza o aspecto social.....	101
<b>Figura 6.18 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza o aspecto social.....	101
<b>Figura 6.19 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza o aspecto social.....	102
<b>Figura 6.20 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza o aspecto social.....	103
<b>Figura 6.21 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza o aspecto social.....	103
<b>Figura 6.22 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza o aspecto social.....	104
<b>Figura 6.23 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza o aspecto social.....	105
<b>Figura 6.24 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza o aspecto social.....	105

<b>Figura 6.25 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza o aspecto social.....	106
<b>Figura 6.26 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	108
<b>Figura 6.27 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	109
<b>Figura 6.28 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	109
<b>Figura 6.29 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	110
<b>Figura 6.30 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	111
<b>Figura 6.31 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	111
<b>Figura 6.32 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	112
<b>Figura 6.33 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	113
<b>Figura 6.34 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	113
<b>Figura 6.35 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza o aspecto ambiental.....	114
<b>Figura 6.36 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	116
<b>Figura 6.37 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	117
<b>Figura 6.38 –</b>	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	118

<b>Figura 6.39</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	118
<b>Figura 6.40</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	119
<b>Figura 6.41</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	120
<b>Figura 6.42</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	120
<b>Figura 6.43</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	121
<b>Figura 6.44</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	121
<b>Figura 6.45</b> –	Comportamento do Reservatório Coremas-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	122

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1 -</b>	Valores característicos da forma da bacia.....	27
<b>Tabela 3.2 -</b>	Resumo das classes de solos da Bacia do Piancó.....	28
<b>Tabela 3.3 -</b>	Temperaturas médias mensais e anual observados no posto de Coremas.....	31
<b>Tabela 3.4 -</b>	Insoleção mensal média nos postos de Triunfo e São Gonçalo.....	31
<b>Tabela 3.5 -</b>	Médias Mensais da Umidade Relativa do ar (%).....	31
<b>Tabela 3.6 -</b>	Velocidade média mensal dos ventos no Posto de São Gonçalo.....	32
<b>Tabela 3.7 -</b>	Evaporação média mensal (mm) do Posto de Coremas na Bacia do Piancó.....	32
<b>Tabela 3.8 -</b>	Precipitações médias mensais e anual no posto de Coremas.....	33
<b>Tabela 4.1 -</b>	Estrutura geral da matriz de avaliação.....	39
<b>Tabela 5.1 -</b>	Características técnicas dos projetos de irrigação.....	55
<b>Tabela 5.2 -</b>	Distribuição dos coeficientes mensais de cultivo ( $K_c$ ).....	55
<b>Tabela 5.3 -</b>	Dados das características das culturas e do sistema de irrigação.....	56
<b>Tabela 5.4 -</b>	Dados da piscicultura intensiva.....	58
<b>Tabela 5.5 -</b>	Dados da piscicultura extensiva.....	59
<b>Tabela 5.6 -</b>	Evaporação Média Mensal do Tanque Classe A do Posto de Coremas (mm).....	70
<b>Tabela 5.7 -</b>	Evaporação Média Mensal do Tanque Classe A do Posto de Sousa (mm).....	70
<b>Tabela 5.8 -</b>	Valores das faixas pluviométricas para cada categoria.....	71
<b>Tabela 5.9 -</b>	Precipitações Mensais (mm).....	71
<b>Tabela 5.10 -</b>	Descrição dos postos pluviométricos e fluviométricos utilizados.....	71
<b>Tabela 5.11 -</b>	Matriz de Avaliação.....	72
<b>Tabela 5.12 -</b>	Funções de preferência e pesos para os atributos do critério econômico.....	74
<b>Tabela 5.13 -</b>	Funções de preferência e pesos para os atributos do critério social.....	74
<b>Tabela 5.14 -</b>	Funções de preferência e pesos para os atributos do critério ambiental.....	75
<b>Tabela 5.15 -</b>	Vazões disponíveis para outorga no Sistema Coremas-Mãe D'Água e a jusante segundo a Resolução da ANA nº 687.....	79
<b>Tabela 6.1 -</b>	Ordenação das alternativas na análise multicriterial.....	85
<b>Tabela 6.2 -</b>	Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios quando se prioriza o aspecto econômico.....	90

<b>Tabela 6.3 –</b>	Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios quando se prioriza o aspecto social.....	99
<b>Tabela 6.4 –</b>	Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios quando se prioriza o aspecto ambiental.....	107
<b>Tabela 6.5 –</b>	Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.....	115

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> –	Principais considerações apresentadas pela Lei 9.433 sobre outorga de uso da água.....	17
<b>Quadro 2.2</b> –	Algumas considerações apresentadas no Decreto nº 19.260/97.....	19
<b>Quadro 4.2</b> -	Tipos de Funções de Preferência.....	42

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1 INTRODUÇÃO

No Brasil os conflitos de uso dos recursos hídricos podem ser observados desde as regiões mais desenvolvidas até as mais carentes. Além daqueles conflitos relacionados com a qualidade da água, notados nas bacias urbanizadas e industrializadas, há existência também de conflitos quantitativos em outras bacias. Suas soluções exigem o planejamento e gerenciamento prévio visando à avaliação das demandas e das disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios (Setti, 2001). No entanto, as análises técnicas e institucionais relacionadas a possíveis soluções são de grande complexidade.

A gestão de água tem por objetivo promover o uso adequado, controle e proteção dos recursos hídricos. No Brasil, para contribuir com a gestão dos recursos hídricos foi instituída em 1997, a Política Nacional de Recursos através da Lei Federal nº 9.433 que regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal de 1988. Dentre os instrumentos de gestão citados na lei está a outorga do direito de uso dos recursos hídricos. Todavia, nota-se que 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 problemática descrita acima, os estudos realizados no Brasil para ampliar o limite de alocação de água para concessão de outorga estão baseados em análises quantitativas da disponibilidade hídrica. No entanto, sabe-se que os recursos hídricos disponíveis são cada vez mais escassos e muitas bacias hidrográficas já apresentam limitações com relação aos pedidos de outorga. Brevemente, a análise para concessão de outorgas precisará ser reavaliada ou renegociada para enquadrar os usos à disponibilidade hídrica e socializar o acesso à água.

Nota-se, portanto, que as análises de pedidos de outorgas deverão ser baseadas em critérios mais restritivos incorporando variados aspectos tais como, econômicos, sociais, ambientais e culturais.

Uma análise mais completa, neste sentido, pode ser realizada via análise multiobjetivo, que apresenta um conjunto de métodos para permitir o tratamento simultâneo de aspectos econômicos, sociais e ambientais, entre outros, em um processo de tomada de decisão. Este fato é de fundamental importância visto que, nos dias atuais, raramente uma decisão é tomada em função de um único objetivo.

O processo decisório na área de recursos hídricos, por exemplo, envolve múltiplos atores cada qual com objetivos e interesses diferentes. Em geral, estabelecem-se conflitos de interesses entre grupos de visões distintas acerca das metas a serem adotadas no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos (Gobetti e Braga, 1997).

Dentro desse contexto, pesquisas nesta área são importantes para auxiliar na análise e resolução de problemas bem como na conscientização e no maior envolvimento da sociedade nos debates e processos decisórios relativos à gestão de recursos hídricos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar como as vazões outorgáveis na bacia do rio Piancó são afetadas ao se usar um método multicritério como processo decisório.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Fazer um levantamento das possíveis alternativas (usos da água) a serem avaliadas dentro do método de análise multicritério, levando em consideração a relevância dessas alternativas para a bacia estudada.
- Definir critérios e atributos para a formação da matriz de avaliação.
- Fazer uma análise de sensibilidade mediante a introdução de pesos associados aos critérios e atributos definidos no estudo.

- Obter a ordem de classificação das demandas hídricas do sistema Curema-Mãe D'Água através do método PROMETHEE, quando são levados em consideração aspectos econômicos, sociais e ambientais como prioridade de atendimento.
- Inserir dentro do modelo de outorga as prioridades de atendimento (de acordo com os critérios econômico, social e ambiental) das demandas obtidas com a análise multicriterial.
- Verificar, através do modelo de outorga, o comportamento do sistema estudado e as garantias de atendimento das demandas para cada cenário analisado.
- Averiguar se as garantias obtidas pelo modelo de outorga estão de acordo com o exigido no Decreto nº 19.260/97 que regulamenta a outorga no Estado da Paraíba.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho foi estruturado em sete capítulos.

**Capítulo 1:** Apresenta uma introdução sobre o tema estudado, os objetivos geral e específicos que serão alcançados e a organização do trabalho.

**Capítulo 2:** É apresentada uma revisão da literatura, que faz uma abordagem sobre os sistemas de suporte à decisão incluindo a análise multicritério e o processo de outorga.

**Capítulo 3:** Aborda a caracterização da área de estudo, ou seja, localização, dados e características da bacia hidrográfica.

**Capítulo 4:** Apresenta os modelos utilizados para a análise dos resultados.

**Capítulo 5:** São descritos os procedimentos metodológicos da pesquisa.

**Capítulo 6:** Aborda os resultados e discussões das simulações realizadas.

**Capítulo 7:** Contempla as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO

As duas últimas décadas viram nascer e prosperar uma metodologia de auxílio à tomada de decisões baseada na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos e, também, na facilidade com que propicia o diálogo entre o usuário e o computador. Esta metodologia, genericamente conhecida por *Sistemas de Suporte à Decisões*, vem sendo aplicada com sucesso a diversos campos da atividade humana em que o problema da decisão é muito complexo, como é o caso do gerenciamento e planejamento de sistemas de recursos hídricos (Lanna, 1997).

O termo “*Sistemas de Suporte à Decisões - SSD*” significa, em sentido amplo, “qualquer coisa” que ajude (apóie) uma tomada de decisão. De acordo com Sprague e Carlson (1982), Guariso (1984), Klein e Methlie (1990), Sage (1991), Sprague e Watson (1993) e Turban (1993) *apud* Lanna (1997), os *SSD* são sistemas computacionais que podem ter por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados ou parcialmente estruturados, isto é, quando não existem soluções através de algoritmos bem definidos.

De acordo com Filho *et al.* (1999) os *SSD* são ferramentas computacionais que permitem aos planejadores e decisores, quando defrontados com problemas de difícil estruturação em face da complexidade envolvida, processarem o seu estudo a partir da construção interativa e adaptativa de soluções através da propositura de diferentes cenários possíveis de ocorrerem e da avaliação da sua evolução face às decisões tomadas.

Porto e Azevedo (1997) definem os *SSD* como sistemas constituídos por base de dados e modelos matemáticos que interagindo entre si, propiciam, através de uma interface gráfica, o diálogo entre o tomador de decisões e o computador. O planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos, devido às diversas variáveis envolvidas, são problemas complexos que podem ser melhores estruturados através do uso dessas ferramentas, propiciando tomadas de decisões mais rápidas e precisas.

A tomada de decisão em um contexto de gestão de recursos hídricos necessita de uma ação conjunta de equipes multi e transdisciplinares, devido à complexidade envolvida no

planejamento, controle e proteção dos recursos hídricos, envolvendo múltiplos agentes e múltiplas finalidades de uso das águas. Trata-se de um processo bastante complexo, necessitando a consideração de aspectos políticos, sociais, econômico-financeiros, ambientais e de engenharia, dentre outros. É essencial que aos decisores sejam fornecidos instrumentos que lhes facilite as tomadas de decisões nos seus aspectos mais abrangentes, em diferentes instâncias e formas de abordagem (Viegas Filho *et al.*, 1999).

De modo geral, qualquer SSD, para ser eficaz, necessita de informações confiáveis e relevantes sobre a situação analisada. A qualidade das informações incorporadas nesse tipo de sistema influencia principalmente a sua utilidade e os seus resultados (Ramos, 2005).

O uso de métodos multicriteriais apresenta-se como uma ferramenta muito interessante para dar suporte à tomada de decisões. Sannemann (2001) *apud* Ramos (2005) considera os métodos multicriteriais como metodologias de auxílio ao decisor na construção ou estruturação do entendimento do seu problema.

## 2.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A história da análise multicriterial teve início com o trabalho de Pareto (1986) *apud* Zuffo (1998), que examinou um problema de agregação de critérios dentro de um critério simples, definindo o conceito da eficiência entre duas alternativas de decisão.

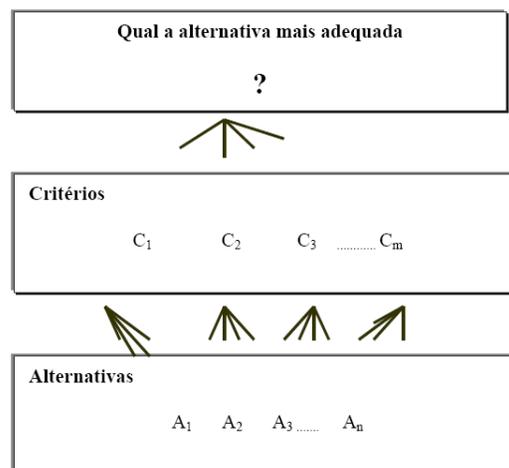
Os métodos de análise multicritério tiveram o seu desenvolvimento mais significativo na década de 1960, de onde surgiram várias escolas de pesquisadores com diferentes técnicas e modos de apoio à decisão (Gonçalves *et al.*, 2003).

Segundo Lima (2003), duas correntes de pensamento direcionaram o desenvolvimento das metodologias multicritério: a escola americana, desenvolvendo metodologias denominadas Multicritério de Tomada de Decisão (MCDM – *Multiple Criteria Decision-Making*) e a escola européia, com as metodologias denominadas Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA - *Multiple Criteria Decision-Aid*). A escola européia orienta-se a partir de uma visão construtivista do conhecimento, considerando conceitos, procedimentos, modelos e resultados, para auxiliar os decisores a organizar o contexto decisório sobre determinado problema, não com o objetivo de prescrever uma solução, mas, sim, apoiar a tomada de decisão. A escola americana, por sua vez, busca prescrever uma solução para o problema, adotando uma abordagem de tomada de decisão (Ramos, 2005).

Segundo Zuffo (1998), A “Escola Européia” busca, com a utilização dos métodos multicriteriais de sobreclassificação, a “solução de melhor compromisso”, e não a solução mais racional como a pregada pela “Escola Americana”.

Os métodos multicritérios avaliam as alternativas utilizando um conjunto de critérios; cada um deles sendo uma função matemática que mede o desempenho das alternativas com relação a um determinado aspecto. O objetivo é a otimização dessas funções de forma simultânea (Ensslin *et al.* (2001) *apud* Ramos (2005)).

A Figura 2.1, a seguir, ilustra a filosofia da abordagem multicritério.



**Figura 2.1:** Escolha da alternativa mais adequada.

Dependendo da forma em que são utilizadas as preferências do decisor e da natureza dos problemas, as técnicas de análise multiobjetivo podem ser divididas da seguinte maneira:

- **Técnicas que geram o conjunto das soluções não-dominadas:** não consideram as preferências do decisor, baseando-se somente nas restrições físicas do problema. O conjunto das soluções não-dominadas é estabelecido pelo analista com base exclusiva nas restrições físicas do problema e para um máximo de três objetivos. No caso de mais de três objetivos, torna-se duvidoso para o analista o estabelecimento das relações-de-troca entre objetivos (Cohon e Marks, 1975 *apud* Santos, 2004).

De acordo com Jardim (1999), o uso dessas técnicas fica prejudicado no contexto decisório da gestão das águas onde há multiplicidade de objetivos. Considera, ainda, que a dificuldade que o analista encontra para estabelecer as relações-de-troca frente a

problemas com mais de três objetivos traz a diminuição da confiabilidade do resultado, aumentando o nível de incerteza no processo.

Zuffo (1998) cita algumas destas técnicas: Método das Ponderações ou das Restrições (Zadeh, 1963); Método Multiobjetivo Linear (Philip, 1972); Métodos dos Pesos (Cohon, 1978; Hasen et. al., 1982); Método de Estimação do Conjunto não-dominado NISE (No-Inferior Set Estimation) (Cohon, 1978); Método Simplex, um (PMO) de Zeleny (Cohon, 1978; Hasen *et al.*, 1982), entre outras.

- **Técnicas que incorporam preferências do decisor:** Segundo Zuffo (1998) este tipo de técnica capta progressivamente as preferências do decisor, oferecendo uma seqüência de soluções, que convergem a uma solução final. Algumas dessas técnicas são: Método da Programação por Metas (Charnes e Cooper, 1961); Método ELECTRE I (Roy, 1968), método PROMETHEE (Brans et al. 1984; Brans e Vincke, 1985); Método do Valor Substituto de Troca (Haimes e Hall, 1974); Método da Matriz de Prioridades (Saaty, 1977); Método da Análise-Q (Hiessl et al., 1985); Método da Função Multidimensional (Keeney e Raiffa, 1974); Método de Negociação dos Valores Candidatos (Cohon, 1978); Método de Zionts – Wallenius (Cohon, 1978), entre outras.
- **Técnicas que utilizam uma articulação progressiva das preferências:** De acordo com Zuffo (1998), nesta técnica, o analista e o decisor interagem, progressivamente, ao longo do processo decisório. Trabalham com uma função dinâmica de valor e param quando se atingiu uma situação em que o decisor está satisfeito com a solução encontrada. Algumas destas técnicas são: Método dos Passos (Benayoun et al., 1971); Método da Programação por Compromisso (Yu, 1973); Ponderação dos Critérios a Priori (Cohon, 1978).

As abordagens multicritérios se constituem em formas de modelar os processos de decisão onde entram em jogo uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores. Dessa forma, as abordagens multicritérios funcionam como uma base para discussão, principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores, ou ainda, quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente

consolidada (Bouyssou (1989) *apud* Noronha (1998)). Seu objetivo, portanto, é ajudar o “decisor” a analisar os dados, que são intensamente complexos no campo ambiental, e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente.

### 2.2.1 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Dentre as metodologias mais conhecidas e caracterizadas na literatura como Multicritério de Apoio à Decisão podemos citar:

- **Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchic Process, AHP*):** Caracteriza-se por fazer uma descrição do problema hierarquizando atributos e utilizando uma escala de razão, usando comparações par a par (Holz, 1999). Esse método realiza a seleção, ordenamento e avaliação subjetiva de várias alternativas em relação a um ou mais objetivos. Por meio do estabelecimento de classes para as alternativas, para a comparação par a par, os objetivos são comparados entre si por uma equipe multidisciplinar, resultando dessa comparação uma matriz onde é representado o grau de superioridade de um critério em relação a outro (Zuffo *et al.*, 2002). O AHP é uma ferramenta muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos princípios, critérios, indicadores e verificadores (Mendoza *et al.*, 1999). Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica.
- **Os Métodos da Família ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*):** Essa metodologia sustenta-se nos conceitos de concordância, discordância e valores-limite (“*outranking*”), através da utilização do intervalo de escala nas relações-de-troca na comparação de alternativas em pares (Gonçalves *et al.*, 2003). São métodos baseados em relações de superação para decidir sobre a determinação de uma solução, que mesmo sem ser ótima pode ser considerada satisfatória, e obter uma hierarquização das ações (Flament, 1999). A família dos métodos ELECTRE é composta pelos métodos ELECTRE I, II, III, IV, IS e TRI. Os métodos ELECTRE I e ELECTRE II envolvem apenas critérios verdade e são destinados a problemas que envolvem seleção e ordenação de alternativas, respectivamente. Com o desenvolvimento de novos tipos de modelagem de preferências, foram construídos os

métodos ELECTRE III, IV, IS e TRI, que inserem na sua estrutura modelagens de preferências mais refinadas. (Vinke (1992) *apud* Zuffo (1998)).

- **O Método PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation):** Os métodos da família PROMETHEE têm como objetivo proporcionar aos “decisores” um melhor entrosamento e entendimento da metodologia de apoio à decisão com a qual estarão envolvidos (Gartner, 2001). Ele atua na construção de relações de superação valorizadas, incorpora conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica facilmente compreensível pelo “decisor”. Há várias versões do PROMETHEE, no PROMETHEE I se obtém uma pré-ordem parcial, e no PROMETHEE II pode-se obter uma pré-ordem total considerando os fluxos líquidos de cada alternativa. Outras variantes do método analisam situações mais sofisticadas de decisão, em particular problemas com um ou mais componentes estocásticos. Dessa forma se desenvolvem as versões PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V, PROMETHEE VI e PROMETHEE GAIA (Flament, 1999).

O método PROMETHEE é semelhante ao ELECTRE, consistindo em uma relação de desclassificação. Nesse método, são definidas, pelo decisor, diferentes funções de preferência para cada critério, dentre um grupo de seis funções propostas (Barcellos *et al.*, 2003).

- **O Método Macbeth (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique):** O método MACBETH foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick em 1994. Ele constrói uma função critério e determina os parâmetros relacionados com a informação (Flament, 1999). Trata-se de uma abordagem de análise multicritérios de decisão que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções (Costa *et al.*, 2004). Ele mede o grau de preferência de um “decisor” sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão das preferências. Sua maior vantagem, portanto, é a interatividade (Fernandes, 1996).
- **Programação por Compromisso:** É baseado em um processo iterativo com o estabelecimento progressivo das preferências do decisor, até que uma solução

satisfatória seja encontrada. O método classifica as alternativas através da medida da sua distância em relação à solução considerada a melhor (Gonçalves *et al.*, 2003).

Em problemas que envolvem recursos hídricos e meio ambiente, comumente depara-se com critérios de naturezas quantitativa e qualitativa, além do grande volume de informações e de número de critérios. A escolha do método fica então subordinada à natureza dos dados disponíveis. Desta forma, uma análise no banco de dados permite a eliminação de muitos métodos multicriteriais, que provavelmente não conseguiriam convergir a uma solução do problema analisado (Zuffo, 1998).

Acredita-se que os métodos de avaliação multicriterial podem auxiliar a inclusão das variáveis relevantes no processo de tomada de decisão.

### **2.2.2 EXPERIÊNCIAS REALIZADAS COM MÉTODOS MULTICRITÉRIOS**

Serão apresentados, a seguir, alguns trabalhos realizados com o uso de métodos de análise multicriterial.

David e Duckstein (1976) *apud* Braga e Gobetti (2002) utilizaram o Método ELECTRE I para analisar o Sistema de Recursos Hídricos da bacia do Rio Tisza (Hungria). Este mesmo caso foi estudado por Keeney e Woody (1977), utilizando o Método da Função Utilidade e Duckstein e Opricovic (1980), utilizando o Método Programação por Compromisso para auxiliar a implementação de quatro alternativas de sistemas de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Tisza. Os critérios utilizados para a avaliação foram: custo total, probabilidade de escassez de água, qualidade de água, fator de reuso de energia e proteção de cheias.

Gershon *et al.* (1982) *apud* Braga e Gobetti (2002) utilizaram os métodos ELECTRE I e II, na avaliação de estratégias de desenvolvimento para a bacia do Rio Santa Cruz, Arizona, EUA. Em 1988, Aregai *et al.* fizeram uma comparação dos métodos ELECTRE I, Programação por Compromisso e Teoria dos Jogos Cooperativos, na análise do sistema de tratamento de esgotos do Arizona.

Brans e Vincke (1985) aplicaram o Método Promethee e o Plano GAIA para decidir onde deveria ser construída uma nova usina de energia elétrica na Europa, dentre seis países (alternativas) distintos: Itália, Bélgica, Alemanha, Grã Bretanha, Portugal e França. Foram considerados os seguintes critérios de avaliação: 1) minimizar mão-de-obra na operação, 2)

maximizar energia produzida, 3) minimizar custo de manutenção, 4) minimizar número de povoados evacuados e 5) maximizar o nível de segurança.

Harris e Singer (1991) apresentaram uma metodologia para reduzir a subjetividade na ponderação dos critérios, combinando os métodos ELECTRE e matriz de prioridades, e finalmente, Braga *et al.* (1991), estudaram diversas alternativas de configuração de um sistema de aproveitamento hidroelétrico na Bacia do Rio Doce, usando o método da matriz de prioridades.

O trabalho de Teixeira e Barbosa (1995) trata da avaliação multicritério de alternativas de projeto da barragem do Castanhão, no Rio Jaguaribe, região nordeste brasileira. Dentre os múltiplos usos a que se destina o reservatório destacavam-se: o abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza, o controle de enchentes do baixo Jaguaribe, a irrigação de cerca de 43.000 ha, a geração de energia elétrica e o desenvolvimento da pesca e do turismo. A partir da análise dos relatórios oficiais e da polêmica gerada sobre o empreendimento, foram adotados dois objetivos fundamentais: i) eficiência econômica ou aumento da reserva nacional líquida e ii) qualidade ambiental. Associados a estes objetivos, foram adotados os critérios de maximização dos benefícios líquidos e minimização da capacidade da barragem. O resultado obtido revelou uma adequação da metodologia, na qual as técnicas de modelagem distintas foram usadas de maneira integrada em diferentes etapas do processo decisório.

Gonçalves *et al.* (2003), aplicaram os métodos multicritérios ELECTRE I e Programação de Compromisso, objetivando a escolha da vazão a ser liberada em determinados períodos dos diversos reservatórios de água da bacia hidrográfica do Rio Curu (CE). Para a definição das alternativas, foram levados em conta vários fatores quantitativos (área irrigada, retorno financeiro) e subjetivos (aspectos sociais e políticos), sob a visão dos membros do comitê da bacia hidrográfica do Rio Curu.

Francato e Barbosa (2003) realizaram uma comparação multiobjetivo e analisaram as relações de interdependência entre dois objetivos operacionais conflitantes no setor adutor metropolitano do serviço de abastecimento da grande São Paulo. Como resultado do trabalho, foi obtida uma melhor compreensão sobre o relacionamento entre os dois objetivos operacionais considerados relevantes sob a ótica dos gestores de sistemas urbanos de abastecimento de água (minimização da flutuação da vazão da estação de tratamento de água e minimização da vazão bombeada no *booster*), bem como a caracterização do grau de compromisso entre as funções objetivo estudadas.

Barcellos *et al.* (2003) também utilizaram a metodologia multiobjetivo para definir o volume de água de um reservatório de uso múltiplo a ser distribuído para cada usuário. A bacia estudada foi a do Rio Gorutuba, em Minas Gerais. Os critérios de avaliação das alternativas foram definidos pela composição da opinião de diversos grupos de decisores: i - distritos de irrigação, ii - decisor político municipal, iii – irrigantes localizados a jusante da barragem do Bico da Pedra, iv- órgãos ambientais, v – CODEVASF. Os objetivos ou critérios identificados pelos usuários/decisores foram: objetivos sociais (possibilidade de lazer, atendimento ao pequeno agricultor), objetivos ambientais (minimização dos impactos ambientais da irrigação, minimização do deplecionamento, garantia de uma vazão remanescente) e objetivos econômicos e financeiros (garantia do abastecimento de água para os distritos e para os usuários a jusante, bem como maximização dos benefícios com a irrigação).

Santos (2004) utilizou o Método PROMETHEE como auxílio à tomada de decisão para construção de obras hidráulicas, visando a ampliação da oferta hídrica na bacia hidrográfica do Rio Gramame. Foram levados em consideração aspectos econômicos, sociais e ambientais. Adotaram-se cinco alternativas e dezoito critérios para a solução do problema. O método mostrou-se adequado para a resolução do problema e forneceu a classificação das alternativas sob o ponto de vista de todos os critérios através de níveis hierárquicos.

Ramos (2005) desenvolveu um modelo multicritério utilizando uma abordagem construtivista, para avaliar potenciais candidatos a receber a outorga de uso da água. A metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA), incorporou múltiplos aspectos, tanto objetivos como subjetivos, considerados importantes pelos tomadores de decisão. O estudo de caso foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul (RS), considerando-se como tomadores de decisão um sub-grupo do conjunto de membros do comitê da referida bacia, que possui uma área de 738 km<sup>2</sup> e fornece água para o abastecimento de aproximadamente 800 mil habitantes em cinco municípios. A utilização da metodologia MCDA foi essencial para a negociação e entendimento do processo de outorga dos recursos hídricos pelos tomadores de decisão.

Vilas Boas (2007) apresentou um modelo de Análise de Decisão que facilita o processo de escolha de alternativas de políticas, programas e projetos relacionados à gestão de recursos hídricos e, mais especificamente, ao uso múltiplo de reservatórios. Através do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), foi desenvolvido um modelo multicritérios de análise de decisão para auxiliar os agentes tomadores de decisão nas questões inerentes ao uso da água. O modelo forneceu como resultado uma lista das alternativas de uso do reservatório,

classificada em ordem decrescente de prioridades, de acordo com as preferências dos decisores. Os resultados obtidos mostraram que, com o emprego da análise multicritérios, é possível utilizar os julgamentos subjetivos dos atores envolvidos no processo decisório, com precisão e confiabilidade, conferindo maior aceitabilidade, transparência e robustez à decisão.

### **2.2.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO COMO APOIO À DECISÃO NO PROCESSO DE OUTORGA DE USOS DA ÁGUA**

O problema de distribuição de água disponível entre usuários é um típico exemplo de decisão a ser resolvido por análise de sistemas de recursos hídricos, através de um conjunto de técnicas que visam simular o comportamento da realidade dos sistemas e otimizar os processos decisórios (Cruz, 2001).

No caso da outorga, o problema de decisão consiste em escolher uma dentre várias alternativas de outorga definidas por volume, frequência e período de uso, tipos de usos, locais de uso etc., considerando diferentes definições para disponibilidade hídrica, componentes sociais, econômicas, políticas e ambientais, tais como objetivos para o uso das águas, prioridades entre usuários, objetivos de qualidade da água e necessidades para manter a integridade dos recursos hídricos. Esses fatores são mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil quantificação. Quanto maiores às demandas, maiores os conflitos e mais complexo se torna o problema (Cruz, 2001).

Estudos recentes revelam que atualmente a concessão de outorga em grande parte dos estados brasileiros é vinculada a uma análise meramente quantitativa dos recursos hídricos disponíveis. No entanto, como os problemas de disponibilidade desses recursos são cada vez maiores muitas bacias hidrográficas já se encontram com pedidos de outorga limitados. Em um futuro próximo, as solicitações serão maiores que a disponibilidade e a maioria das outorgas precisará ser revista.

Nota-se, portanto, que as análises de pedidos de outorgas deverão ser feitas com base em critérios mais restritivos levando em consideração aspectos importantes como econômicos, ambientais e sociais e não apenas os quantitativos.

Uma análise bastante completa neste sentido é a análise multiobjetivo que apresenta um conjunto de métodos para permitir o tratamento simultâneo de aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais e outros em um processo de tomada de decisão. Este fato é de fundamental importância visto que, nos dias atuais, raramente uma decisão é tomada em função de um único objetivo.

## 2.3 DEFINIÇÃO DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA

A outorga consiste em atribuir à pessoa física ou jurídica o direito de uso de uma quantidade ou vazão de água superficial e/ou subterrânea por um período determinado. A Lei Federal nº 9.433/97 institui a outorga como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e a Lei 6.308/96 que prevê a outorga como um dos instrumentos de gestão e definem como objetivos do regime de outorga “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”.

Segundo Lanna (2003), a função da outorga será ratear os recursos hídricos disponíveis entre as demandas existentes, ou potenciais, de forma que os melhores resultados sejam gerados para a sociedade. *A outorga de uso de recursos hídricos, normalmente, é o primeiro instrumento a ser aplicado ao longo da implantação de sistemas de gestão. Apenas usuários sujeitos à outorga deverão ser objeto de cobrança.*

Para Fernandez e Garrido (2002), a outorga de direito de uso da água objetiva disciplinar e racionalizar o uso deste recurso, compatibilizando-o com a disponibilidade hídrica da bacia. Cruz (2001) coloca os objetivos da outorga de forma mais abrangente, inclusive no sentido de prioridade de uso: “Esse instrumento tem como objetivo racionalizar e compatibilizar a conservação ambiental e os diferentes usos da água, de tal forma que sejam preservados os direitos dos usuários, priorizando entre estes o abastecimento público”.

De acordo com Matos (2001), a outorga é um ato administrativo e poderá ser efetivada através da licença, autorização, permissão ou concessão, a depender do caso concreto existente. Por exemplo, se um cidadão precisa captar água para a irrigação na sua propriedade, é um caso de autorização; no entanto, se o Poder Público vai escolher uma empresa privada para captar e bombear água para uma coletividade de agricultores é um caso de concessão de serviço público, que exige licitação prévia, pois o referencial da Constituição é a isonomia e o caminho para o Estado escolher isonomicamente é a licitação. O operador do Direito não pode esquecer que a interpretação deve ser sistemática, usando-se diversas leis e princípios do Direito Administrativo, principalmente a lei de concessões e permissões.

### 2.3.1 TIPOS DE OUTORGA

A outorga controlada tem como objetivos garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Devido a fatores como a impossibilidade de separação entre os aspectos quantitativos e qualitativos das águas e

a relação próxima entre os instrumentos da política nacional de recursos hídricos e os instrumentos da política nacional de meio ambiente, verifica-se a necessidade de uma grande integração entre o órgão ambiental e o órgão gestor dos recursos hídricos.

Segundo Kemper e Cestti (1995) *apud* Pires (1996), outros tipos são a outorga comercializável e a outorga ripária. No primeiro tipo existe a formação de um mercado de água, o qual é determinado pela lei da procura e da oferta. Para o funcionamento desse mercado de águas é necessária a definição e a alocação inicial do direito sobre as águas e para isso existem alguns mecanismos: leilões, outorga baseada no uso histórico e capacidade de fazer melhor uso do recurso. Esse sistema apresenta diversas dificuldades e tem sido muito criticado na literatura. No segundo tipo a outorga é geralmente vinculada a terra e a água tem características de um bem privado. O direito sobre a água pertence ao proprietário das terras por onde os cursos de água passam. Nesse tipo de concessão não existe um controle do Poder Público e não há definição sobre usos prioritários e vazões máximas de captação.

No Brasil a opção adotada pelo modelo de gestão foi a outorga do tipo controlada ou administrativa. Nesse tipo de outorga o usuário obtém o direito de uso da água, mas isso não implica a alienação parcial das águas, que são consideradas inalienáveis.

## **2.4 O PROCESSO DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA NO BRASIL**

### **2.4.1 CÓDIGO DAS ÁGUAS**

A primeira lei sobre gestão de recursos hídricos no país, o Código de Águas, de 1934 (Decreto nº 24.643), priorizava a utilização dos rios brasileiros para a produção de energia elétrica, não valorizando os demais usos possíveis para a água, como o abastecimento público. Ele é, ainda, a base legal da legislação brasileira sobre a gestão das águas, exceto nos assuntos tratados pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei nº 9.433/97, da Política Nacional de Recursos Hídricos (MEDEIROS, 2000).

O Código de Águas, em seu artigo 34, estabelece que: “É assegurado o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água, para as primeiras necessidades da vida [...]”. Em seu artigo 43, estabelece: “As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes”.

Este Código estabeleceu uma política hídrica bastante moderna e complexa para a época, abrangendo vários aspectos, tais como: aplicação de penalidades, propriedade, domínio, aproveitamento das águas, força hidráulica e seu aproveitamento, concessões, autorizações, fiscalização, dentre outros.

#### **2.4.2 A LEI 9433/97**

A Lei Federal nº 9.433/97 constitui-se num marco histórico para a implementação de um sistema de gerenciamento das águas no País e está pautada por um modelo institucional descentralizado, voltado para a participação da sociedade civil, por meio dos Comitês de Bacias Hidrográficas e de seus respectivos Conselhos de Recursos Hídricos (Carvalho, 2003).

A Política Nacional dos Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

- I – a água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III – em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;
- VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

São instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos essenciais à gestão adequada dos recursos hídricos:

- I – os Planos de recursos hídricos;
- II – o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III – a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos;
- IV – a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- V – o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Tais instrumentos devem ser utilizados em conjunto dentro de uma visão integrada dos recursos em uma bacia hidrográfica, considerada a unidade territorial de gerenciamento, com o objetivo de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; de promover a utilização racional dos recursos hídricos assim como propiciar instrumentos para a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos (Silva, 1998).

Um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos é “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões adequados aos respectivos usos” (Brasil, 1997). Como um dos instrumentos dessa Política, está definido na lei 9.433/97 a outorga de direito de uso de recursos hídricos. O regime de outorga definido por esta lei tem como objetivos “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água” (Brasil, 1997). A referida lei prevê que as prioridades de usos dos recursos hídricos para outorga devam ser definidas nos planos de bacias hidrográficas, os quais, em última análise, serviriam de base para orientar o gerenciamento dos recursos hídricos, de forma que se possa realizar a sua exploração baseada na sustentabilidade (Ramos, 2005). O Quadro 2.1, a seguir, descreve as principais considerações apresentadas pela Lei 9.433 sobre a outorga de uso da água.

**Quadro 2.1** – Abordagem da outorga de uso da água pela Lei 9.433.

<b>Artigo 12</b>	
Usos sujeitos a 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>	
Condição- 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 aquíaviário, quando necessário.

	A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo destes.
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.

Fonte: Rodrigues, 2007

## 2.5 LEGISLAÇÃO ESTADUAL

### 2.5.1 A OUTORGA NO ESTADO DA PARAÍBA

A política de recursos hídricos do Estado da Paraíba está instituída na Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, regulamentada pelo Decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997 legalizando 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.

O Artigo 4 da referida Lei enumera os seguintes instrumentos que serão utilizados na implementação da gestão dos recursos hídricos: I – Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos; II – Plano Estadual de Recursos Hídricos; e III – Plano e Programas Intergovernamentais.

Os instrumentos de gerenciamento estão definidos na Lei nº 6.308 no Capítulo V, Seção I, sendo eles: **a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos** (Artigo 15);

Cobrança pelo uso dos recursos hídricos (Artigo 19) e III – Rateio dos custos das obras de uso múltiplo (Artigo 21).

O Órgão Estadual estabelecerá critérios com atribuições de realizar a outorga. No Artigo 6º e incisos do Decreto nº 19.260 estão enumerados os usos passíveis de outorga, sendo, portanto:

I – derivação ou captação de parcela de recursos hídricos existentes em um corpo de água, para consumo final ou insumo de processo produtivo;

II – lançamento em um corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos;

III – qualquer outro tipo de uso que altere o regime, a quantidade e a qualidade da água.

O Quadro 2.2, a seguir, descreve algumas considerações apresentadas pelo Decreto nº 19.260 sobre outorga de uso da água.

**Quadro 2.2 – Algumas considerações apresentadas no Decreto nº 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 infra-estrutura 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.

Fonte: Rodrigues, 2007

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 (AESAs), 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 (Rodrigues, 2007).

## **2.6 EXPERIÊNCIAS EM OUTORGA DO USO DA ÁGUA**

Ribeiro e Lanna (2001) analisaram instrumentos regulatórios e econômicos para viabilizar a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Na categoria dos instrumentos regulatórios os autores estudaram o enquadramento dos corpos d'água, o licenciamento ambiental e a outorga do direito de uso da água. Na classe do econômico foram apresentados a cobrança pelo uso da água e os mercados pelos direitos de uso e de poluição. O estudo foi aplicado na bacia do Rio Pirapama, localizada na região metropolitana do Recife. Concluiu-se que o uso do conjunto de instrumentos regulatórios e econômicos pode contribuir na tarefa de gerir os recursos quali-quantitativamente. Entre os desafios desta tarefa está a busca pela adequada interação entre os órgãos gestores de recursos hídricos e os do meio ambiente com definição clara das respectivas competências legais e administrativas.

Arnéz (2002) desenvolveu uma metodologia para a avaliação de critérios de outorga do uso da água na bacia do Rio Santa Maria (RS). A análise foi realizada de forma sistêmica (admitindo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento) com o uso de modelos matemáticos de avaliação e gestão, particularmente modelos de simulação hidrológica, em conjunto com dados experimentais sobre o efeito de água no rendimento das culturas. A avaliação de diversos valores de outorga levando em consideração bases econômicas, como custos de plantio, preços de mercado dos produtos e recorrência das falhas de atendimento, associada à probabilidade de ocorrência de rendimentos líquidos não negativos, revelou um modelo de utilização otimizado dos recursos hídricos superficiais da bacia.

Buarque *et al.* (2003) analisaram o consumo de água do setor sucro-alcooleiro (tendo como estudo de caso o Estado de Alagoas) e sugeriram valores de demandas hídricas para a produção de açúcar e álcool compatíveis com as técnicas modernas de produção e com a escassez hídrica do local em estudo. Os resultados apresentados mostraram que em Alagoas há indústrias com excelentes índices de consumo, outras nem tanto, embora haja no setor um esforço continuado e efetivo para a diminuição da pressão ambiental sobre os rios.

Schvartzman *et al.* (2003) realizaram um estudo para as bacias dos Rios Piratinga e Ponte Grande, pertencentes à bacia do Rio Urucuia em Minas Gerais, visando a obtenção da

outorga para os diversos usuários do setor de irrigação, sendo a autorização emitida posteriormente à análise técnica realizada por parte do órgão gestor.

No trabalho de Cruz *et al.* (2003), os autores desenvolveram um sistema, denominado SISMODH (Sistema Modular de Avaliação da Disponibilidade Hídrica), como uma alternativa de equacionamento para a avaliação da disponibilidade hídrica para outorga, visando o balanço hídrico otimizado na bacia. O sistema foi aplicado à bacia do Rio Jucuí (RS). Segundo os autores “a vantagem do modelo é o aspecto agregador de informações, ou seja, se houver mais dados ou mais recursos para estudos, melhores avaliações serão produzidas até as seções hidrológicas de referências, adequando e evoluindo o conhecimento do estado dos mananciais hídricos e diminuindo incertezas das estimativas para outorga”.

Bordignon (2005) elaborou subsídios para a outorga de direito de uso de recursos hídricos superficiais para a bacia hidrográfica do Rio Itajaí. Foram levantados e caracterizados os principais usos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e feita a quantificação de suas demandas. Foram estabelecidas prioridades de uso dos recursos hídricos e realizadas simulações para atendimento das diversas demandas apuradas para diferentes critérios de outorga. Em cada simulação, é avaliada a possibilidade de atendimento das demandas de maneira a respeitar a vazão ecológica previamente estabelecida e as prioridades de atendimento fixadas para cada tipo de uso. Com base nos resultados das simulações foram propostos critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos e um procedimento para a definição dos usos insignificantes para a bacia hidrográfica do Rio Itajaí.

Cruz e Tucci (2005) realizaram um estudo visando a implantação de um sistema de outorga de uso dos recursos hídricos através de um equacionamento de 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 Jucuí –RS. Com base no modelo de balanço foram analisados diferentes critérios de outorga. Os aspectos avaliados foram: prioridades entre diferentes tipos de usuários, critérios de alocação de volumes entre as seções, critérios de definição do número de trechos de gerenciamento, efeito da variabilidade interanual da disponibilidade hídrica, efeito da disponibilidade hídrica sazonal e efeitos ambientais da outorga.

Rodrigues (2007) propôs um modelo linear de otimização diferenciado para analisar a possibilidade de concessão ou não de vazão para outorga através de sub-bacias de contribuições individuais por reservatório. O modelo proposto considerou 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.

Moraes *et al.* (2007) apresentaram uma avaliação de um dos mecanismos econômicos alocativos: a outorga controlada no que se refere a sua efetividade no alcance de um ótimo social. Para isso utilizaram um Sistema de Apoio a Decisão Espacial (SADE-GBHidro) que permitia ao decisor construir diversos modelos econômico-hidrológicos integrados, a partir da integração de bases de dados geográficas com os dados sócio-econômicos, através de uma interface amigável. Os resultados mostram que o mecanismo de outorga em suas diversas formas introduz perdas em relação ao ótimo social, os ganhos quando ocorrem não compensam as referidas perdas.

Holz *et al.* (2007) compararam os procedimentos de pedidos de outorga para uso das águas superficiais nos Estados brasileiros, verificando as disparidades entre os critérios adotados pelas entidades competentes. Foram descritos os principais tipos de uso de água bem como as relações com autoridades outorgantes e respectivas legislações relativas de cada Estado. Também foram verificados os valores máximos outorgáveis e, em seguida, realizada uma abordagem sobre a situação atual dos processos de outorga no Brasil, especialmente na região Nordeste. Os autores concluíram que o documento poderia servir como subsídio à elaboração de uma futura proposta de uniformização regional dos critérios de outorga sendo adequado a unificação dos Sistemas de Suporte à Decisão e Controle de Outorgas.

Brigagão e Netto (2007) desenvolveram, aplicou e avaliou um aplicativo a ser incorporado ao Acquanet (LABSID) capaz de auxiliar, sob o ponto de vista econômico ou financeiro, um processo de tomada de decisão relacionado à cobrança, à outorga ou ao enquadramento. Foi realizada uma aplicação na bacia da barragem do Descoberto – DF, com o objetivo de determinar a receita potencial da bacia a partir de preços ótimos para os diversos usos, avaliar os benefícios econômicos da outorga para o abastecimento de água do município de Águas Lindas (GO), e uma decisão associada ao enquadramento do corpo d'água. Os resultados obtidos demonstraram a potencialidade da abordagem nas decisões para outorga, cobrança e enquadramento, quer seja sob a ótica do órgão gestor, quer seja sob a ótica de um Comitê de Bacia ou do próprio usuário ou empreendedor.

Ravanello *et al.* (2007) apresentaram a análise da outorga de uso dos recursos hídricos das bacias hidrográficas contíguas dos Rios Santa Maria e Ibicuí, localizadas no oeste do Rio Grande do Sul. A análise foi baseada em resultados gerados pelo SSD OutorgaLS, tendo como objetivo avaliar a viabilidade de utilização desta ferramenta no processo decisório de outorga. Os autores concluíram que o SSD OutorgaLS é adequado à situação ensaiada e

apresenta bons resultados. Destaca-se a flexibilidade de adaptação do modelo e a simplicidade de sua utilização.

Ferreira e Silva (2007) realizaram um estudo de critérios de outorga para uso da água na bacia hidrográfica do Rio Canoas, em Santa Catarina, através da aplicação de um modelo de rede de fluxo para o suporte à decisão, o AcquaNet. A partir de um banco de dados elaborado foram simulados cenários para estimar a garantia de abastecimento às demandas de água na bacia hidrográfica, considerando os critérios de outorga mais utilizados em outros Estados do Brasil. Os resultados possibilitaram avaliar as garantias de abastecimento de água segundo o tipo de uso e o município.

Garcia *et al.* (2007) analisaram uma metodologia para a concessão de outorga com a utilização do modelo de rede de fluxo – AcquaNet, que possibilite flexibilizar os valores máximos outorgáveis. O modelo foi aplicado a sub-bacia do Rio Turvo – SP. Os resultados obtidos com a utilização do modelo de rede de fluxo AcquaNet introduziram o conceito de probabilidade de atendimento, associada a uma profundidade de déficit, possibilitando aos gestores da bacia trabalhar com maior flexibilidade em relação aos valores outorgáveis em bacias críticas, não dependendo de uma vazão de referência.

Almeida *et al.* (2007) estudaram a outorga de lançamento de efluentes e o enquadramento de cursos d'água de acordo com seus usos preponderantes objetivando a manutenção da qualidade e quantidade de água nos corpos de água. Nesta pesquisa os autores utilizaram um SSD (SQRio) que considera múltiplas fontes de poluição pontual para análise de diferentes condições de enquadramento para a sub-bacia do Alto Santa Maria da Vitória – ES, simulando diferentes alternativas de gestão por eficiências de tratamento de efluentes e redução de vazões de lançamento. A aplicação do SSD demonstrou-se eficaz para subsidiar estudos e processos decisórios tanto de outorga como de enquadramento.

## **CAPÍTULO 3**

### **3.0 A BACIA HIDROGÁFICA DO RIO PIANCÓ**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO**

A Bacia do Rio Piancó corresponde a uma das sete sub-bacias do Rio Piranhas e está inserida em território paraibano. Localiza-se 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 ao Norte com as Bacias do Alto e Médio Piranhas, ao Sul com o Estado de Pernambuco, ao Leste com a Bacia do Rio Espinharas e a Oeste com o Estado do Ceará.

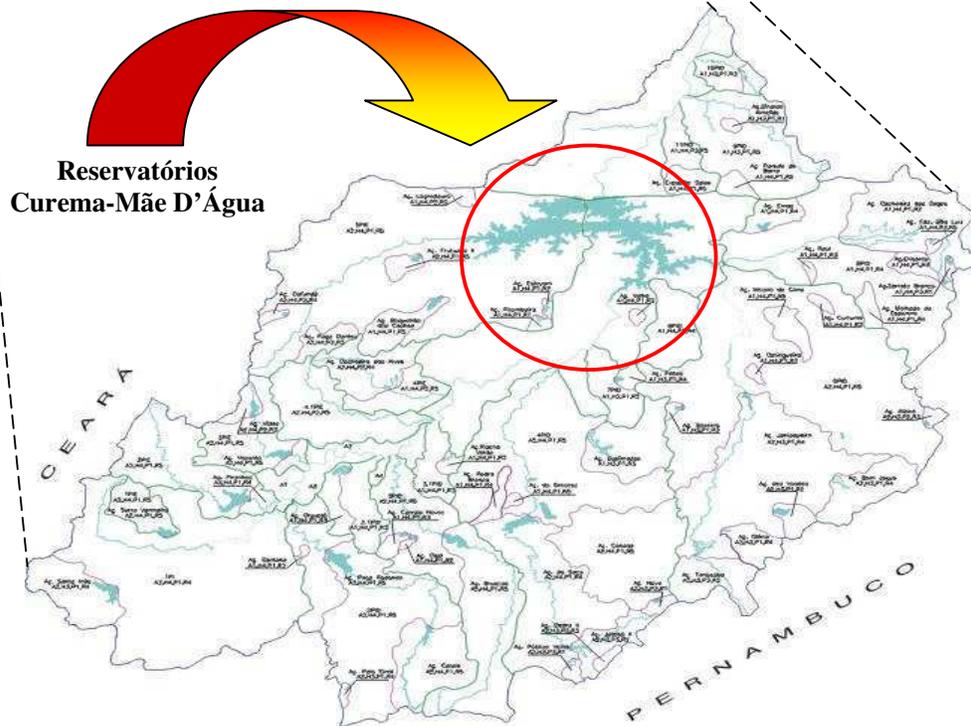
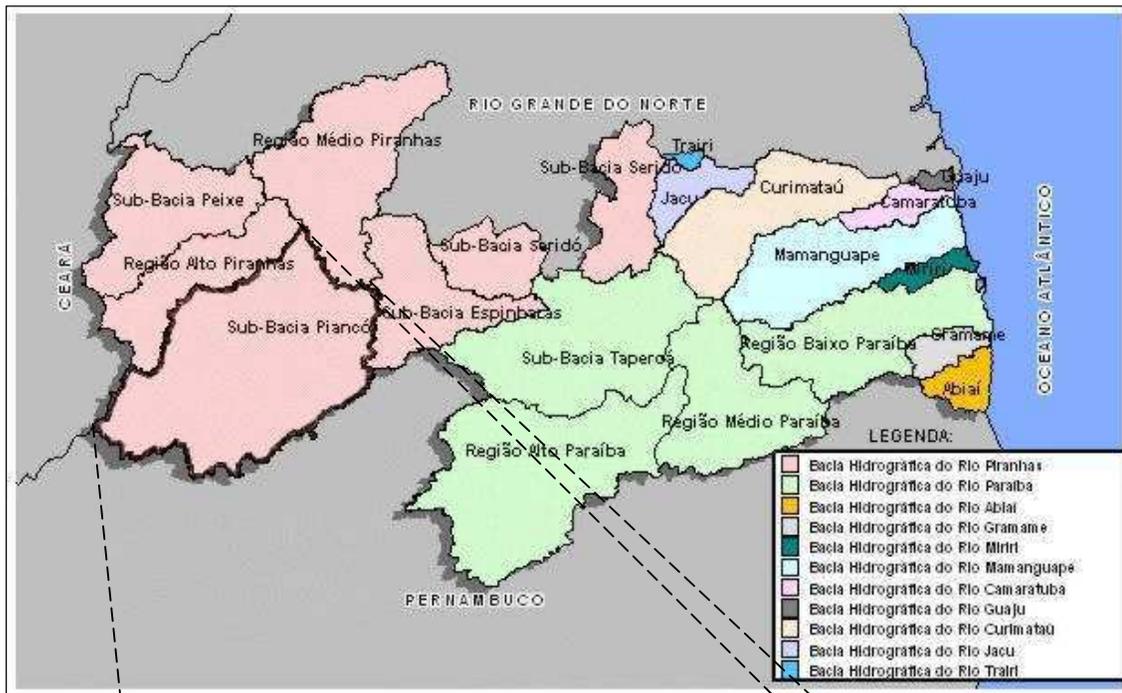
O Rio Piancó apresenta suas nascentes na Serra do Umbuzeiro, localizada no município de Santa Inês, recebendo significativas contribuições de seis cursos d'água na sua margem esquerda (Riachos Humaitá, Coelho, Ortis, Aguiar e Riacho do Meio) e quinze cursos d'água na sua margem direita (Riachos do açude Serra Vermelha, das Canas, da Fartura, Santana, Saco, Bruscas, da Cachoeira Grande, da Vaca Morta, Riacho dos Pilões, Riacho Passagem de Pedra, Riacho do Catolé, da Goiabeira, Madruga, Miguel e Várzea de Boi) desaguando, finalmente, no Rio Piranhas, no município de Pombal.

A Bacia do Rio Piancó apresenta uma área de aproximadamente 9.228 Km<sup>2</sup>, compreendendo partes de três microrregiões paraibanas: Sertão de Cajazeiras, Depressão do Alto Piranhas e Serra do Teixeira. A Figura 3.1, a seguir, ilustra a localização da Bacia do Rio Piancó.

### **3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E CLIMATOLÓGICOS**

#### **3.2.1 FORMA DA BACIA**

De acordo com o SCIENTEC (1997), a Bacia do Rio Piancó abrange uma área de 9.228 Km<sup>2</sup>, delimitada a partir das cartas digitalizadas da SUDENE, em escala 1:100.000. O seu perímetro é de 540 Km (medido na mesma base cartográfica).



**Figura 3.1:** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.  
 Fonte: PERH/PB

O comprimento do curso d'água principal, o Rio Piancó, é de 208 Km, medido desde a sua nascente na Serra do Umbuzeiro, no município de Santa Inês, até o exutório da bacia no município de Pombal.

A Tabela 3.1, a seguir, apresenta o resumo dos valores característicos da forma da bacia.

**Tabela 3.1** - Valores característicos da forma da bacia

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Área (A)	9.228 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	540 km
Fator de forma (F)	0,21
Coefficiente de compacidade (K <sub>c</sub> )	1,59
Extensão Superficial Média (ESM)	0,33

### 3.2.2 SOLOS

A avaliação da distribuição dos solos predominantes na bacia do Rio Piancó pautam-se nos vários estudos de solos existentes em escalas diversas, já realizados na Paraíba.

Na avaliação de terras das bacias, observa-se a ocorrência de nove classes de solos, elencadas em ordem de abrangência: Litossolos, Podzólicos, Bruno Não Cálculo, Cambissolos, Regossolos, Aluvissolos, Latossolos e Afloramento de Rochas.

- **Litossolos Eutrófico:** Os solos que compreendem esta classe, são normalmente rasos, textura arenosa e/ou média, com pedregosidade e rochiosidade, ocorrendo em relevo plano à montanhoso. Devido as fortes limitações, estes solos não são adequados para exploração agrícola, sendo mais indicado para a preservação da fauna e da flora. Estes solos ocupam cerca de 68,85% das terras da Bacia do Rio Piancó.

- **Podzólicos:** São solos de fertilidade alta, moderadamente desenvolvidos, susceptíveis a erosão, ocorrendo em relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado, utilizados na pecuária extensiva e em culturas de subsistência. Ocupam cerca de 10,58% da área da bacia.

- **Bruno Não Cálculo:** São relativamente rasos, com elevada fertilidade, argila de atividade alta, textura argilosa, susceptíveis a erosão, apresentando ou não pedregosidade, são explorados com pecuária extensiva e cultura de subsistência. Compreendem cerca de 9,95% da área da Bacia do Rio Piancó.

- **Cambissolos Eutrófico:** São solos que apresentam certo grau de evolução, com saturação de bases alta, profundos, acentuadamente a fortemente drenados, moderadamente

ácidos, susceptíveis a erosão, normalmente explorados com culturas de subsistência. Ocupam 3,37% da área da Bacia do Piancó.

- **Regossolos Eutrófico:** São solos pouco desenvolvidos, muito porosos, profundos, bem drenados, utilizados nas culturas de agave, milho, feijão, mandioca, palma, forrageira, pastagens e frutíferas. Correspondem a 2,42% das terras da Bacia do Rio Piancó.

- **Aluissolos Eutrófico:** São solos minerais, pouco desenvolvidos, provenientes de deposições fluviais e coluviais recentes e sub-recentes, sem relação genética entre as camadas, permeabilidade variável, boa fertilidade, profundos, textura média e argilosa, com drenagem variando de bem á imperfeitamente drenado. São solos de maior exploração agrícola. Ocupam cerca de 1,63% das área da bacia.

- **Latossolos:** São solos que apresentam baixa saturação de bases, fortemente ácidos, de baixa fertilidade natural, profundos, bem drenados, relevo plano, utilizados na exploração de mandioca, milho e feijão. Abrangem cerca de 0,02% da área da Bacia do Piancó.

As classes de solos ocorrentes foram mapeadas como associação de solos, sendo o solo dominante o que nomeia a classe, seguido de outras unidades taxonômicas. Com base nos levantamentos existentes, em uma abordagem generalizada, foram adotadas as classes de capacidade de uso das terras, sendo os solos da bacia enquadrados nas classes III, IV, VI, VII e VIII.

A distribuição dos solos da Bacia do Rio Piancó, bem como seu percentual e quantitativo, podem ser observados na Tabela 3.2 (SCIENTEC, 1997).

**Tabela 3.2 – Resumo das classes de solos da Bacia do Piancó**

<b>Unidades Cartográficas</b>	<b>Classes de Solos</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Latossolo Vermelho Amarelo (LVd)	IV	1,75	0,02
Podzólico Verm. Amarelo Eutrófico (PE)	III e IV	983,91	10,58
Regossolo Eutrófico (RE)	IV e VI	223,05	2,42
Bruno Não Cálcico (NC)	IV	915,31	9,95
Cambissolo Eutrófico (Ce)	IV	310,33	3,37
Aluissolo Eutrófico (Ae)	III	150,25	1,63
Litossolo Eutrófico (Re)	VI, VII e VIII	6.316,88	68,85
Afloramento de Rochas (AR)	---	8,34	0,09
Superfície Líquida	---	279,48	3,09
<b>Soma</b>	<b>---</b>	<b>9.180,96</b>	<b>100,00</b>

### 3.2.2.1 CAPACIDADE DE USO DO SOLO

A capacidade de uso avalia as possibilidades e limitações que os solos apresentam para exploração, não apresentando danos de maior relevância para o empobrecimento e desgaste, com cultivos anuais, perenes, pastagens, reflorestamentos e vida silvestre. Quanto à avaliação da capacidade de uso da bacia, foram definidas cinco classes, inseridas em três grupos:

- ✓ **Grupo A:** Terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, comportando as classes II a IV.
- ✓ **Grupo B:** Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, porém cultiváveis em casos de algumas culturas especiais protetoras do solo, compreendendo as classes V a VII.
- ✓ **Grupo C:** Terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamentos, porém apropriados para proteção da flora e fauna, recreação ou armazenamento de água, compreendendo a classe VIII.

### 3.2.3 RELEVO

O relevo tem uma importância primordial na formação do escoamento superficial da bacia. O tempo de concentração da bacia, tempo que leva a gota de chuva para ir do limite mais externo da bacia até a calha fluvial, é tanto menor quanto maior for a declividade da bacia.

O relevo na Bacia do Rio Piancó assume três conformações. As encostas, que são divisores de água nas faixas norte, oeste e sul da bacia, são longas e apresentam-se ora côncavas ora convexas. Os altiplanos dos divisores que ocorrem no sul da bacia, nos limites com o Estado de Pernambuco são dotados de relevo plano, suave ondulado, ondulado e, às vezes, forte ondulado. Por último, a depressão central onde se formam as planícies de terrenos aluviais e vales muito abertos em forma de “U” (SCIENTEC, 1997b).

Verifica-se na Bacia do Piancó que apenas 5% de sua área encontra-se em altitudes bastante elevadas, e 95% da área, ou seja, o restante, corresponde a altitudes que variam de 790 a 260 m, caracterizando, portanto, um relevo de moderado a forte. A altitude mediana da bacia é de 461 m e a altitude média é de 485 m.

### **3.2.4 VEGETAÇÃO**

A vegetação natural é do tipo xerófila, pertencente ao bioma caatinga. O caráter xerófilo caracteriza a vegetação nativa, que recebe a denominação de caatinga hiperxerófila, quando o índice de xerofitismo é elevado. Sendo esse índice baixo, denomina-se de hipoxerófila (SCIENTEC,1997).

O processo de degradação da vegetação na bacia está bastante acentuado. A área de antropismo já ocupa mais da metade das terras da bacia (68,8%), causando um elevado grau de degradação, contribuindo para o processo de aridez mais acentuado na região. A vegetação da caatinga é bastante vulnerável quando não explorada racionalmente. Sua utilização de forma desordenada e predatória tem como consequência, o assoreamento dos rios e reservatórios (SCIENTEC,1997).

A capacidade de interceptação das chuvas pela vegetação reduz significativamente o processo de erosão, bem como melhora a capacidade de infiltração nos solos. Os solos com cobertura vegetal nativa no semi-árido apresentam valores de escoamento superficial baixo, sendo da ordem de 8 a 12%. Quando comparado com solos desmatados, este escoamento varia entre 16 e 22% (SCIENTEC,1997).

### **3.2.5 CLIMATOLOGIA**

Grande parte do curso do Rio Piancó atravessa uma região classificada, segundo a classificação climática de Koppen, como tropical chuvoso, com estação pluviosa concentrada no verão e no outono, enquanto que 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).

Os dados climatológicos são registrados em quatro estações climatológicas do Estado da Paraíba, são as estações de Campina Grande, João Pessoa, Monteiro e São Gonçalo e ainda existem dados registrados na estação de Curema, que atualmente encontra-se desativada.

#### **3.2.5.1 TEMPERATURA**

A temperatura média anual é superior a 26°C e a amplitude térmica anual menor que 4°C. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses mais secos, ou seja, no período de outubro a janeiro e as menos elevadas no período de abril a julho.

A Tabela 3.3, a seguir, apresenta os valores de temperatura média mensal e anual dos postos de Curema e São Gonçalo.

**Tabela 3.3** – Temperaturas médias mensais e anual observados nos postos de Curema e S. Gonçalo

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Curema (°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: PDRH/PB – SCIENTEC (1997)

### 3.2.5.2 INSOLAÇÃO

A insolação diária durante o ano alcança uma média de 7,3 horas nas circunvizinhanças da Serra de Triunfo e 8,1 horas no restante da bacia. A Tabela 3.4 apresenta o número mensal médio de horas diárias de insolação para os postos de São Gonçalo e Triunfo.

**Tabela 3.4** – Insolação mensal média nos postos de Triunfo e São Gonçalo

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Triunfo	7,3	7,4	6,2	6,4	6,3	5,6	6,6	8,6	8,4	8,5	8,4	7,4	7,3
S. Gonçalo	8,7	8,1	7,6	7,9	8,4	8,4	8,8	9,5	9,4	9,7	9,0	9,1	8,1

Fonte: PDRH/PB – SCIENTEC (1997)

### 3.2.5.3 UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade relativa do ar média anual é de 64% na foz da bacia, enquanto nas cabeceiras chega a 72%. Observa-se na Tabela 3.5, a seguir, que os meses mais úmidos são março, abril e maio quando a umidade atinge 74% em São Gonçalo e 81% em Triunfo. Os meses mais secos são outubro e novembro, onde chega a atingir 56% e 60% em São Gonçalo e Triunfo, respectivamente.

**Tabela 3.5** – Médias Mensais da Umidade Relativa do ar (%)

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
S. Gonçalo	62	69	74	74	72	68	62	59	57	56	57	58	64
Triunfo	68	76	79	81	81	81	79	72	65	60	61	64	72

Fonte: PDRH/PB – SCIENTEC (1997)

### 3.2.5.4 VELOCIDADE DO VENTO

Em São Gonçalo a velocidade média dos ventos, é observada com valores médios de 2,7 m/s. Na Tabela 3.6 encontram-se os dados mensais médios de velocidade do vento extraídos do posto de São Gonçalo, o único representativo e disponível na bacia.

**Tabela 3.6** – Velocidade média mensal dos ventos no Posto de São Gonçalo

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
S. Gonçalo (m/s)	2,6	2,3	2,0	2,0	2,5	2,7	3,0	2,8	3,3	3,3	3,2	3,3	2,7

Fonte: PDRH/PB – SCIENTEC (1997)

### 3.2.5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração potencial é calculada a partir dos dados climáticos ou a partir dos valores medidos em tanques evaporimétricos, adotando para isso um coeficiente de tanque que depende das características de instalação da estação (geralmente na ordem de 0,7 a 0,8).

Na região de estudo, os valores de evaporação média mensal e anual são extraídos do posto de Curema, através de dados de evaporímetros do tipo tanque classe A. Na Tabela 3.7, são mostrados os valores médios mensais em milímetros. O total anual é de 2993,4 mm e os meses que apresentam maiores taxas são os de setembro a dezembro apresentando uma média em torno de 315,52 mm.

**Tabela 3.7** – Evaporação média mensal (mm) do Posto de Curema na Bacia do Piancó

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Curema	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)

### 3.2.5.6 PRECIPITAÇÃO

A Bacia do Rio Piancó é caracterizada por uma distribuição de chuvas bastante irregular, com uma concentração do período chuvoso em apenas alguns meses do ano. A pluviometria média anual é de 810 mm, e os meses de maior precipitação são compreendidos no período de janeiro a maio. A Tabela 3.8 apresenta os valores médios de precipitação mensal e anual coletados do posto de Curema.

**Tabela 3.8** – Precipitações médias mensais e anual no posto de Curema

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Curema (mm)	83,07	134,4	219,72	175,62	67,55	31,10	17,58	5,78	5,28	9,12	21,38	39,43	810,0

Fonte: PDRH/PB – SCIENTEC (1997)

### 3.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO

#### 3.3.1 O SISTEMA CUREMA-MÃE D'ÁGUA

O sistema formado pelos reservatórios Curema-Mãe D'Água foi construído pelo DNOCS e localiza-se no município de Curema, no sertão paraibano. Este Sistema destaca-se por uma característica peculiar, trata-se de dois reservatórios que, a partir da cota 230 m, unem-se formando ambos um só reservatório com superfície líquida máxima de  $97,9 \times 10^6 \text{ m}^2$ .

O reservatório Curema foi construído através do barramento do Rio Piancó, apresenta capacidade volumétrica de 720 milhões de  $\text{m}^3$  na cota 245 m, possui uma bacia hidrográfica de contribuição de 6840  $\text{Km}^2$ , tem uma bacia hidráulica de 59,50  $\text{Km}^2$ .

O reservatório Mãe D'Água foi construído através do barramento do Rio Aguiar, possui uma capacidade volumétrica de 648 milhões de  $\text{m}^3$ , com uma bacia hidrográfica de contribuição de 1128  $\text{Km}^2$  e bacia hidráulica de 38,40  $\text{Km}^2$ .

Os reservatórios apresentam capacidade máxima de regularização de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  e juntos somam uma capacidade máxima de acumulação de 1,368 bilhões de metros cúbicos e uma bacia hidrográfica de 7968  $\text{km}^2$ , formando a maior reserva hídrica do Estado da Paraíba (Lima, 2004). A Figura 3.2 ilustra algumas imagens do sistema Curema - Mãe D'Água.



a) Barramento ou Parede – Açude Curema-Mãe D'Água

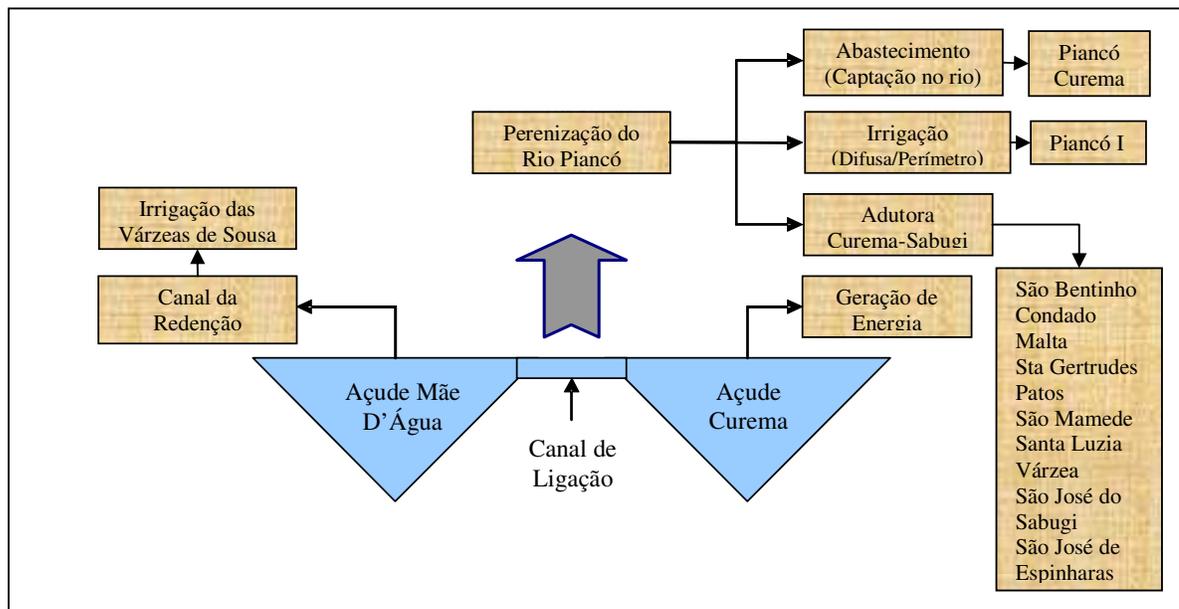


b) Barragem vertedora do açude Mãe D'Água sangrando

**Figura 3.2** – Imagens fotográficas do Sistema Curema - Mãe D'Água

Fonte: AESA (2006)

As principais demandas do sistema com relação aos usos consuntivos são: abastecimento humano e animal, irrigação, abastecimento industrial, controle de cheias e piscicultura. Os usos não-consuntivos são: geração de energia elétrica e navegação. A representação do sistema com os usos à jusante do reservatório Curema-Mãe D'Água está representada na Figura 3.3, a seguir.



**Figura 3.3** - Esquema do Sistema à jusante do reservatório Curema-Mãe D'Água.

Fonte: Baseado em Lima (2004).

Encontra-se a jusante do reservatório Curema (Estevam Marinho) a Usina Hidrelétrica de Curema, 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).

O reservatório Mãe D'Água é responsável pelo abastecimento hídrico das demandas de irrigação das Várzeas de Sousa (5000 ha) estimada em 4,0 m<sup>3</sup>/s. Esta vazão é transportada pelo Canal da Redenção e percorre cerca de 37 Km até atingir as cidades de Sousa e Aparecida, onde está localizado o referido perímetro irrigado (Lima, 2004). A Figura 3.4, a seguir, ilustra algumas imagens do Canal da Redenção.



**Figura 3.4** – Imagens fotográficas do Canal da Redenção  
**Fontes:** Lima (2004); AESA (2007)

## CAPÍTULO 4

### 4 MODELOS UTILIZADOS

Este trabalho foi realizado com aplicação de dois modelos. Inicialmente usou-se o Método PROMETHEE com a finalidade de encontrar a melhor ordem de prioridade das demandas a serem outorgadas. Em seguida, utilizou-se o Modelo de Outorga para verificar a garantia de atendimento destas demandas e o comportamento do sistema ao longo do tempo. A descrição desses modelos será feita nos itens a seguir.

#### 4.1 O MÉTODO PROMETHEE

O método utilizado nesta pesquisa para a realização da análise multiobjetivo é o PROMETHEE, por ser de fácil aplicação e por realizar uma análise mais completa e explícita devido à existência das funções de preferência. Este método tem como objetivo encontrar o melhor ranking de alternativas para avaliação da outorga dos usos da água, levando em consideração, neste trabalho, critérios sociais, ambientais e econômicos.

##### 4.1.1 GENERALIDADES

Os métodos da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHOD for Enrichment Evaluation*), são um conjunto de metodologias que fazem uso de relações de sobreclassificação em problemas de decisão, propostos pela primeira vez em 1982 (Brans e Mareschal, 2002 *apud* Brito, 2006). Estes métodos têm se destacado dos demais por envolver conceitos e parâmetros com alguma interpretação física ou econômica, de fácil compreensão e assimilação pelo decisor (Almeida e Costa, 2003), e têm sofrido uma série de desenvolvimentos e adaptações complementares que deram origem às diversas metodologias da família PROMETHEE (Brans e Mareschal, 2002 *apud* Brito, 2006).

Dentre estas metodologias, destaca-se o método PROMETHEE II, que é utilizado em diversas aplicações para auxiliar o decisor tanto no caso de uma problemática de escolha como no caso de uma problemática de ordenação (Brans e Mareschal, 2002 *apud* Cavalcante, 2005).

Para o apoio a decisão a família PROMETHEE, listada abaixo, ainda dispõe dos seguintes métodos (Brans e Mareschal, 2002 *apud* Almeida e Costa, 2003):

- PROMETHEE I – onde a interseção entre os fluxos estabelece uma relação de sobreclassificação parcial entre as alternativas;
- PROMETHEE II – a interseção entre os fluxos estabelece uma relação de sobreclassificação total entre as alternativas;
- PROMETHEE III e IV – desenvolvidos para o tratamento de problemas de decisão mais sofisticados, em particular com um componente estocástico. O PROMETHEE IV envolve o caso de um conjunto contínuo de ações  $A$  que surge quando estas ações são, por exemplo, percentagens, dimensões de um produto, investimentos etc;
- PROMETHEE V – neste método, após estabelecer-se uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas, incorporando-se uma metodologia de otimização inteira;
- PROMETHEE VI – desenvolvido para suportar o contexto onde o decisor não está apto ou não quer definir os pesos para os critérios, este método admite a especificação de intervalos de possíveis valores em vez de um valor fixo para cada peso;
- PROMETHEE GAIA – consiste na extensão dos resultados do PROMETHEE através de um procedimento visual e interativo.

#### 4.1.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE

O Método PROMETHEE pode ser usado em problemas multicritérios que realizam comparações par-a-par num conjunto  $A$  de alternativas, onde vários critérios de decisão devem ser maximizados ou minimizados conforme a necessidade.

Um problema multicritério com número finito de alternativas, pode ser representado da forma:

$$Max \{ f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x), \dots, f_k(x) \forall x \in A \} \quad (4.1)$$

onde  $A$  é um conjunto finito enumerável de  $n$  ações (ou alternativas) potenciais em  $f_j(x)$ ,  $j=1,2,\dots,k$ ,  $k$  critérios, que são as aplicações de  $A$  sobre o conjunto dos números reais. Cada critério tem unidade própria e não tem restrições no caso em que certos critérios são para maximizar e outros são para minimizar.

Segundo Brans e Mareschal (2002) *apud* Brito (2006) a utilização do PROMETHEE exige o conhecimento de alguns conceitos utilizados em sua fase de construção da relação de sobreclassificação, tais conceitos são apresentados a seguir:

- $w_j$  é o peso de cada critério e significa a importância que o critério tem.
- $f_j(a)$  é o valor ou o desempenho da alternativa  $a$  em relação ao critério  $j$ .
- $P_j(a,b)$  é a função de preferência, valor que varia de zero a um e representa o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças proveniente da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério.
- $\Pi(a,b)$  é o grau de sobreclassificação de  $a$  em relação a  $b$ , também é chamado de índice de preferência multicritério ou global. É calculado por:

$$\Pi(a,b) = \frac{1}{W} \sum w_j P_j(a,b) \quad \text{Onde: } W = \sum_{j=1}^n w_j \text{ e } n \text{ é o número de critérios.} \quad (4.2)$$

- $\Phi^+(a)$  é chamado de fluxo de saída e representa a média de todos os graus de sobreclassificação de  $a$ , com respeito à todas outras alternativas, é dado pela expressão:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(a,b)}{n-1} \quad (4.3)$$

O fluxo de saída ( $\Phi^+(a)$ ) expressa como uma alternativa “ $a$ ” supera as demais. Quanto maior  $\Phi^+(a)$ , melhor a alternativa “ $a$ ”.

- $\Phi^-(a)$  é chamado de fluxo de entrada, representa a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as outras alternativas sobre a alternativa “ $a$ ”, é dado pela expressão:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b,a)}{n-1} \quad (4.4)$$

O fluxo de saída ( $\Phi^-(a)$ ) expressa como uma alternativa “ $a$ ” é superada pelas outras. Quanto menor  $\Phi^-(a)$ , melhor é a alternativa “ $a$ ”.

No PROMETHEE II considera-se, para cada  $a \in X$ , o fluxo de importância líquido, como sendo (Lanna, 1997):

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (4.5)$$

A ordenação total das alternativas é determinada por:

$$\begin{aligned} \text{"a" é preferido de "b" (a } P^{(II)} \text{ b)} & \quad \text{se: } \Phi(a) > \Phi(b) \\ \text{"a" é indiferente de "b" (a } I^{(II)} \text{ b)} & \quad \text{se: } \Phi(a) = \Phi(b) \end{aligned}$$

Através desse processo, o PROMETHEE II permite um ordenamento das alternativas, da mais preferida para a menos preferida, seguindo a ordem decrescente dos fluxos líquidos associados a cada uma (Brito, 2006).

#### 4.1.2.1 MATRIZ DE AVALIAÇÃO

A análise multicriterial é muitas vezes estruturada na forma de uma matriz de avaliação. Essa estruturação possibilita uma melhor visualização e clareza do problema abordado. A estrutura geral da matriz de avaliação foi descrita por Jardim (1999) e está mostrada na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** - Estrutura geral da matriz de avaliação

		Alternativas				
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	.....	$x_n$
Critérios	1	$f_1(x_1)$	$f_1(x_2)$	$f_1(x_3)$	.....	$f_1(x_n)$
	2	$f_2(x_1)$	$f_2(x_2)$	$f_2(x_3)$	.....	$f_2(x_n)$
	3	$f_3(x_1)$	$f_3(x_2)$	$f_3(x_3)$	.....	$f_3(x_n)$
	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	p	$f_p(x_1)$	$f_p(x_2)$	$f_p(x_3)$	.....	$f_p(x_n)$

Cada uma das  $n$  alternativas é avaliada de acordo com os  $p$  critérios estabelecidos no processo decisório (Santos, 2004).

De acordo com Braga (2001) os critérios de avaliação das alternativas representam a especificação dos objetivos em características e qualidades, em medidas adequadas de desempenho e soluções de planejamento.

O método necessita, para seu desenvolvimento, de informações adicionais: informações entre os critérios e intrínsecas de cada critério, que serão descritas a seguir (Zuffo *et al* (2002) *apud* Santos (2004)):

**a) Informações entre critérios**

Pode ser representada por uma estrutura de pesos ( $w_j$ ) de importância relativa entre os critérios. Os pesos são assumidos positivos e o maior peso (de um critério particular) indica a maior importância deste critério sobre os demais. O somatório dos pesos  $w_j$  deve ser igual a 1.

**b) Informações intrínsecas de cada critério (comparações par-a-par das alternativas)**

São observados desvios ou diferenças entre os valores do mesmo critério para as diferentes alternativas. Por menor que sejam esses desvios, o decisor alocará uma pequena preferência para a melhor alternativa. Quanto maior o desvio, maior a preferência. Não há objeções quanto às preferências assumirem números reais variando entre 0 e 1. Isto significa que, para cada critério está associado um valor atribuído a alternativa  $x$  segundo o critério  $i$ , isto é,  $f_i(x)$ , e o decisor tem a seguinte função:

$$P_i(a,b) = P_i[d_i(a,b)]$$

$a, b, \in X$ , em que:

$$d_i(a,b) = f_i(a) - f_i(b)$$

e para o qual:

$$0 \leq P_i(a,b) \leq 1$$

Onde:

$i$  é o critério,

$f_i(x)$  é o valor atribuído a alternativa  $x$ , segundo o critério  $i$ ,

$P_i(a,b)$  é a função de preferência de  $a$  sobre  $b$  para cada critério  $i = 1, 2, \dots, n$ .

**4.1.2.2 FUNÇÕES DE PREFERÊNCIAS**

De acordo com Cavalcante e Almeida (2005) é introduzida no PROMETHEE uma função de preferência, sem escala, que assume valores entre 0 e 1, a fim de representar o

comportamento do decisor diante das diferenças relativas para cada critério de avaliação, assim como para eliminar os efeitos de escalas ligadas às unidades em que os critérios são expressos. Essa função de preferência, representada por  $P_j(a,b)$ , fornece o grau de preferência de  $a$  sobre  $b$  em função de  $d_j(a,b)$ , a diferença entre os desempenhos das alternativas  $a$  e  $b$  no critério  $j$ .

A função de preferência ou *critério generalizado* (Almeida e Costa, 2003), representa o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças provenientes da comparação par-a-par entre alternativas para um dado critério  $j$ . O PROMETHEE apresenta seis formas clássicas para o decisor representar esse comportamento, não necessariamente utilizando a mesma forma para todos os critérios. Com o uso dos seguintes parâmetros:

- $q_j$  – limiar de indiferença, o maior valor para  $f_j(a) - f_j(b)$  abaixo do qual existe uma indiferença em se preferir  $a$  ou  $b$ ;
- $p_j$  – limiar de preferência, o menor valor para  $f_j(a) - f_j(b)$  acima do qual existe uma preferência estrita por  $a$  em relação a  $b$ ;
- $s_j$  – limiar que controla a inclinação da função de preferência gaussiana, correspondendo a um limiar de preferência médio situado entre os patamares  $q_j$  e  $p_j$ .

A função de preferência ou critério generalizado pode assumir uma das seis formas apresentadas na Tabela 4.2 a seguir. O valor de  $P_j(a,b)$  aumenta se a vantagem de uma alternativa em relação a outra aumenta, e é igual a zero se o desempenho de uma alternativa é igual ou inferior ao de outra, como pode ser visto na tabela a seguir.

**Quadro 4.2 - Tipos de Funções de Preferência**

<b>Tipo de Função de Preferência</b>	<b>Se</b>	<b>Então</b>	<b>Ilustração da Função</b>
<b>Tipo 1 - Critério usual</b> (não há parâmetro a ser definido)	$f_i(a) - f_i(b) > 0$	$P_j(a,b) = 1$	
	$f_i(a) - f_i(b) \leq 0$	$P_j(a,b) = 0$	
<b>Tipo 2 – Quase - critério</b> (define-se o parâmetro q)	$f_i(a) - f_i(b) > q$	$P_j(a,b) = 1$	
	$f_i(a) - f_i(b) \leq q$	$P_j(a,b) = 0$	
<b>Tipo 3 - Critério de preferência linear</b> (define-se o parâmetro p)	$f_i(a) - f_i(b) > p$	$P_j(a,b) = 1$	
	$0 < f_i(a) - f_i(b) \leq p$	$P_j(a,b) = [f_i(a) - f_i(b)]/p$	
	$f_i(a) - f_i(b) \leq 0$	$P_j(a,b) = 0$	
<b>Tipo 4 - Critério de nível</b> (definem-se os parâmetro q e p)	$f_i(a) - f_i(b) > p$	$P_j(a,b) = 1$	
	$q < f_i(a) - f_i(b) \leq p$	$P_j(a,b) = 1/2$	
	$f_i(a) - f_i(b) \leq q$	$P_j(a,b) = 0$	
<b>Tipo 5 - Critério de preferência linear com zona de indiferença</b> (definem-se os parâmetro q e p)	$f_i(a) - f_i(b) > p$	$P_j(a,b) = 1$	
	$q < f_i(a) - f_i(b) \leq p$	$P_j(a,b) = [f_i(a) - f_i(b)]/(p-q)$	
	$f_i(a) - f_i(b) \leq q$	$P_j(a,b) = 0$	
<b>Tipo 6 - Critério Gaussiano</b> (o desvio padrão deve ser fixado)	$f_i(a) - f_i(b) > 0$	<i>A preferência aumenta segundo uma distribuição normal</i>	
	$f_i(a) - f_i(b) \leq 0$	$P_j(a,b) = 0$	

Fonte: Cavalcante e Almeida (2005)

Gobetti e Braga (1997) descrevem cada função de acordo com o comportamento dos gráficos apresentados no Quadro 4.2. Essa descrição é relatada a seguir.

**TIPO 1 (Usual):** Quando o desvio  $d(a, b)$  entre as alternativas “a” e “b” for maior que zero, isto é, para a alternativa “a” o critério “j” assumir maior valor, a função de preferência assume valor um, neste caso a alternativa “a” é preferível a “b”. Caso contrário, a função de preferência é zero e não existe preferência absoluta da alternativa “a” sobre a alternativa “b”. Simbolicamente: Se  $d(a, b) > 0$ , então  $P(a, b) = 0$ .

**TIPO 2 (Formato U):** O intervalo delimitado por  $x_i \leq q_i$ , caracteriza uma região de indiferença com relação a preferência da alternativa “a” sobre a alternativa “b”, relativo ao critério “j” e a função de preferência assume o valor “0”. Para desvios maiores que  $q_i$  a função de preferência é igual a “1” e a alternativa “a” tem preferência absoluta sobre a alternativa “b”.

Simbolicamente: Se  $d(a, b) > q_i$ , então  $P(a, b) = 1$ , caso contrário  $P(a, b) = 0$ .

**TIPO 3 (Formato V):** No intervalo compreendido entre  $x_i \leq p_i$ , é estabelecido um aumento linear da intensidade da preferência da alternativa “a” sobre a alternativa “b”, proporcional ao desvio de valores do critério  $i$ . A partir deste valor a alternativa “a” passa a ter preferência absoluta sobre a alternativa “b”.

Usando símbolos: Se  $d(a, b) > p_i$ , então  $P(a, b) = 1$ , caso contrário  $P(a, b) = (1/p_i) * d(a, b)$

**TIPO 4 (Função de Nível):** A função ‘*tipo escada*’ assume indiferença quando o desvio  $x_i \leq q_i$ ; no intervalo delimitado por  $q_i < x_i \leq p_i$ , a alternativa “a” tem a mesma preferência que a alternativa “b” e, a partir de  $p_i$ , a alternativa “a” tem preferência absoluta sobre a alternativa “b”.

Usando símbolos: Se  $d(a, b) > p_i$ , então  $P(a, b) = 1$ ,

Se  $d(a, b) \leq q_i$ , então  $P(a, b) = 0$ ,

Se  $q_i < d(a, b) \leq p_i$ , então  $P(a, b) = 0,5$ .

**TIPO 5 (Linear):** Quando o desvio  $d(a, b)$  entre as alternativas “a” e “b” assumir valor maior que o parâmetro  $p_i$ , a função de preferência assume o valor 1, isto é, a alternativa “a” é preferível à alternativa “b”; quando  $q_i < d(a, b) \leq p_i$ , a intensidade da preferência da alternativa “a” aumenta linearmente sobre a alternativa “b”; e, quando  $d(a, b)$  for menor que o parâmetro  $q_i$ , a alternativa não é preferível à alternativa “b”.

Usando símbolos: Se  $d(a, b) > p_i$ , então  $P(a, b) = 1$ ,

Se  $d(a,b) \leq q_i$ , então  $P(a,b) = 0$ ,

Se  $q_i < d(a,b) \leq p_i$ , então  $P(a,b) = (1/(p-q))*(d(a,b)-q)$

**TIPO 6 (Gaussiana):** A intensidade da preferência aumenta continuamente, de forma exponencial, de 0 até 1. O parâmetro “ $s_j$ ” indica a distância da origem até o ponto de inflexão da derivada da função.

A definição do tipo de função de preferência e dos parâmetros utilizados para cada atributo, será feita no Capítulo 5, que trata da Metodologia utilizada para pesquisa.

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

Os dados referentes ao modelo linear de otimização para avaliação do pedido de outorga foram pesquisados e retirados de Rodrigues (2007). Este modelo é utilizado para outorga de água em bacias controladas por reservatórios, isto é, outorga de água captada em reservatórios. Sua função será analisar os pedidos de outorga baseado no ranking de alternativas obtido através da análise multicriterial.

O modelo de outorga será transcrito a seguir.

### **4.2.1 DESCRIÇÃO DO MODELO DE OUTORGA**

O modelo de outorga é caracterizado 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 à 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 de água 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 x 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.

#### 4.2.2 DADOS DO MODELO

Os seguintes dados de entrada são requeridos pelo modelo:

- $N$  = 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
- $S_{\text{dead}}$  = 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:

- $R(t)$  = 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  $t$

### 4.2.3 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 4.6, a seguir, expressa a função objetivo do modelo de outorga.

$$\min Z = \sum_{t=1}^N [-\alpha_1(t)R(t)] + \alpha_2 \sum_{t=1}^N [Sp(t) + Def(t)]; \quad \alpha_1(1) > \alpha_1(2) > \dots > \alpha_1(N) \quad (4.6)$$

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

### 4.2.4 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:

$$\begin{aligned} S(1) &= S_0 + I(1) - E(1) - R(1) - Sp(1) \\ S(t) &= S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (4.7)$$

onde

$S_0$  é o armazenamento inicial no reservatório;

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

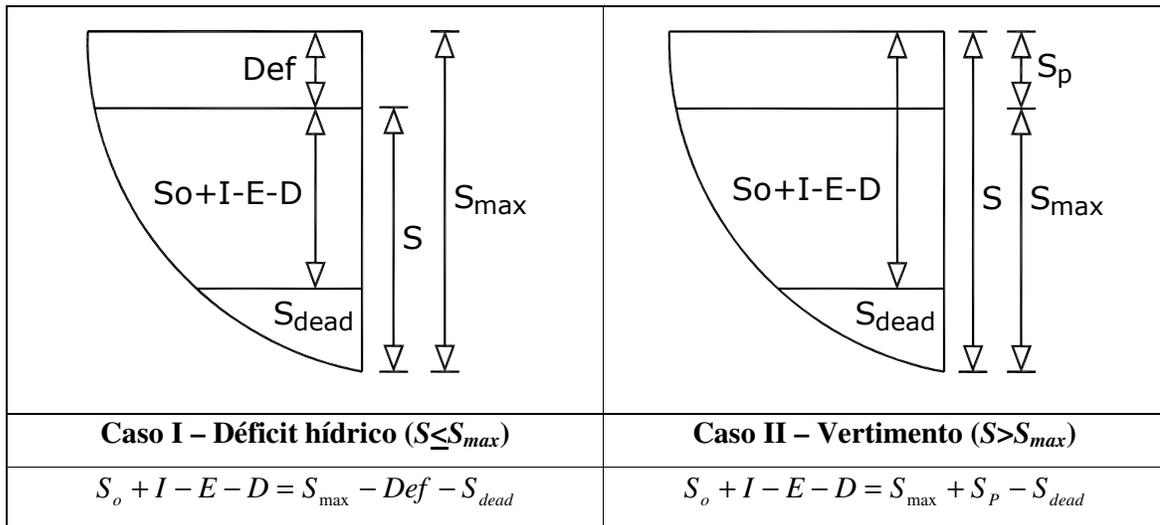
$E(t)$  é o volume evaporado durante o mês  $t$ ; e

$Sp(t)$  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:

$$\begin{aligned}
 S(1) &= S_0 + I(1) - E(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \\
 S(t) &= S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

A liberação e o armazenamento, em cada período de tempo, também são relacionados com o déficit hídrico e o vertimento, como mostrado na Figura 4.1.



**Figura 4.1** – Esquema dos casos de ocorrência de déficit hídrico e vertimento.

Fonte: Rodrigues (2007)

O déficit hídrico ocorre quando o volume do reservatório é menor que o seu volume máximo.

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 (4.9) descreve a inserção desses parâmetros no modelo.

$$\begin{aligned}
 S_0 + I(1) - E(1) - D(1) &= S_{máx} - Def(1) + Sp(1) \\
 S(t-1) + I(t) - E(t) - D(t) &= S_{máx} - Def(t) + Sp(t); \quad t = 2, \dots, N
 \end{aligned}
 \tag{4.9}$$

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

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 (4.10) abaixo descreve essa restrição:

$$0 \leq R(t) \leq D(t); \quad \forall t \quad (4.10)$$

### c) Volume

A Equação (4.11) 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 ( $S_{dead}$ ) e menor ou igual ao armazenamento máximo ( $S_{max}$ ). Esta equação induz a não ocorrência de vertimento.

$$S_{dead} \leq S(t) \leq S_{max}; \quad \forall t \quad (4.11)$$

### d) Déficit hídrico

A restrição relacionada com o déficit hídrico no mês  $t$  em relação ao volume máximo do reservatório está representada pela Equação (4.12). De acordo com a equação esse déficit não poderá ser inferior a zero.

$$Def(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (4.12)$$

### e) Vertimento

A última restrição refere-se ao vertimento do reservatório no mês  $t$ . Igualmente ao déficit, o vertimento também não poderá ser inferior a zero. A Equação (4.13) traz essa restrição:

$$Sp(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (4.13)$$

Portanto, o vertimento e o déficit ocorrerão ou não segundo as regras da Equação (4.14). Essas regras estão esquematizadas na Figura 4.1.

$$\begin{cases} R(t) \leq D(t) \text{ e } S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) \leq S_{max} \Rightarrow Sp(t) = 0 \\ R(t) = D(t) \text{ e } S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) > S_{max} \Rightarrow Sp(t) = S(t-1) + I(t) - E(t) - Q(t) - D(t) - S_{max} \end{cases} \quad (4.14)$$

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 (4.15):

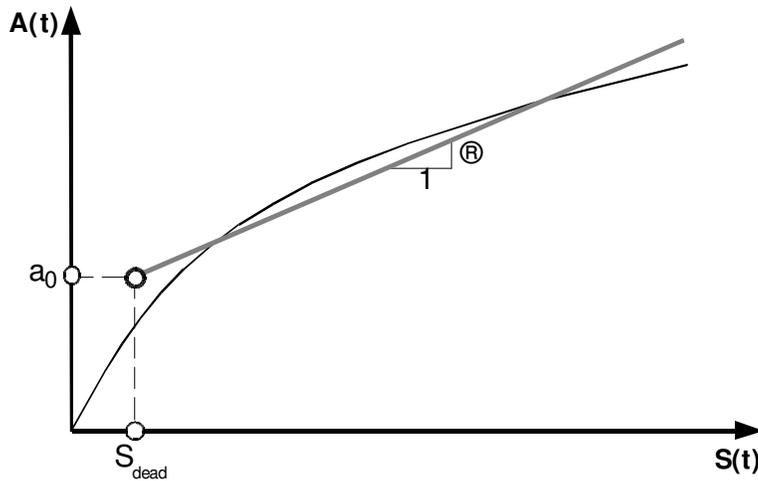
$$E(t) = \varepsilon(t) \left[ \frac{A(t-1) + A(t)}{2} \right] \quad (4.15)$$

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:

$$A(t) = a_0 + \alpha[S(t) - S_{\text{dead}}] \quad (4.16)$$

onde  $a_0$  é a área definida pela reta para o volume morto ( $S_{\text{dead}}$ ) e  $\alpha$  é a declividade da reta (Figura 4.2).



**Figura 4.2** – Linearização da curva área-volume

(Fonte: Celeste *et al*, 2006)

Combinando as Equações (4.15) e (4.16) tem-se a seguinte expressão para a evaporação em função do armazenamento médio, no início e no final do intervalo de tempo atual:

$$E(t) = e_0(t) + e(t) \left[ \frac{S(t-1) + S(t)}{2} \right] \quad (4.17)$$

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:

$$e_0(t) = (a_0 - \alpha S_{\text{dead}}) \mathcal{E}(t) \quad (4.18)$$

e

$$e(t) = \alpha \mathcal{E}(t) \quad (4.19)$$

Inserindo o valor de  $E(t)$  da Equação (4.16) nas expressões (4.8) e (4.9), pode-se chegar às formas das Equações (4.20) e (4.21) do balanço hídrico, respectivamente:

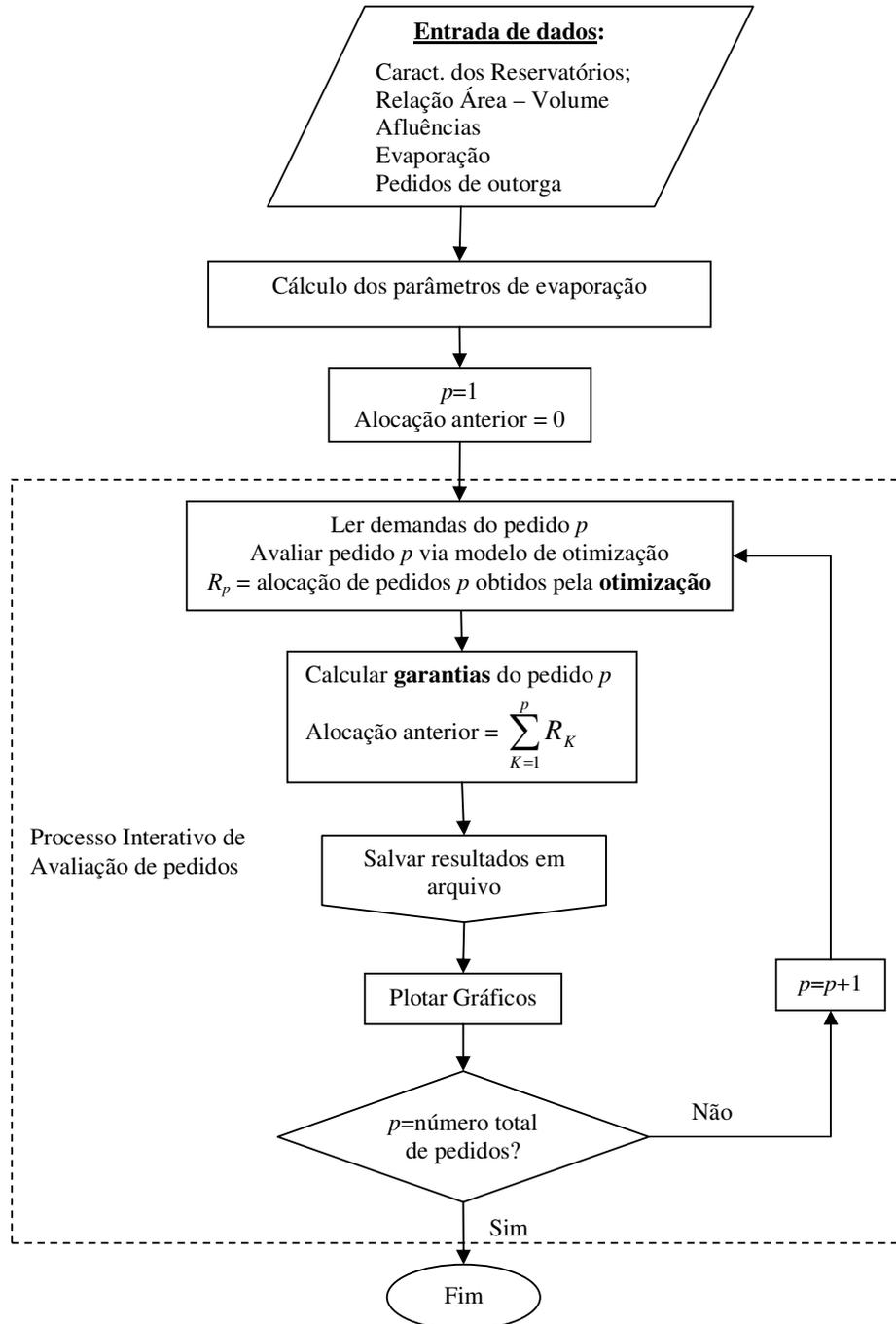
$$\begin{aligned} \left[1 + \frac{e(1)}{2}\right] S(1) &= \left[1 - \frac{e(1)}{2}\right] S_0 + I(1) - e_0(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \\ \left[1 + \frac{e(t)}{2}\right] S(t) &= \left[1 - \frac{e(t)}{2}\right] S(t-1) + I(t) - e_0(t) - R(t) - Q(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (4.20)$$

e

$$\begin{aligned} \left[1 - \frac{e(1)}{2}\right] S_0 - \frac{e(1)}{2} S(1) + I(1) - D(1) - Q(1) - e_0(1) &= S_{\text{máx}} - Def(1) + Sp(1) \\ \left[1 - \frac{e(t)}{2}\right] S(t-1) - \frac{e(t)}{2} S(t) + I(t) - D(t) - Q(t) - e_0(t) &= S_{\text{máx}} - Def(t) + Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (4.21)$$

#### 4.2.5 FLUXOGRAMA DO MODELO DE OUTORGA

O fluxograma do modelo linear de otimização para avaliação de pedido de outorga está representado na Figura 4.3.



**Figura 4.3** – Fluxograma do modelo de outorga.

Fonte: Rodrigues (2007)

## **CAPÍTULO 5**

### **5 METODOLOGIA**

A metodologia utilizada nesta pesquisa parte inicialmente da utilização do Método Promethee II e em seguida do uso do Modelo de Otimização de Outorga.

Nas Seções 5.1 e 5.2 será mostrado como foi estruturada a metodologia para a aplicação do Método Promethee e do Modelo de Otimização de Outorga.

A Figura 5.1, a seguir, mostra o fluxograma da metodologia utilizada.

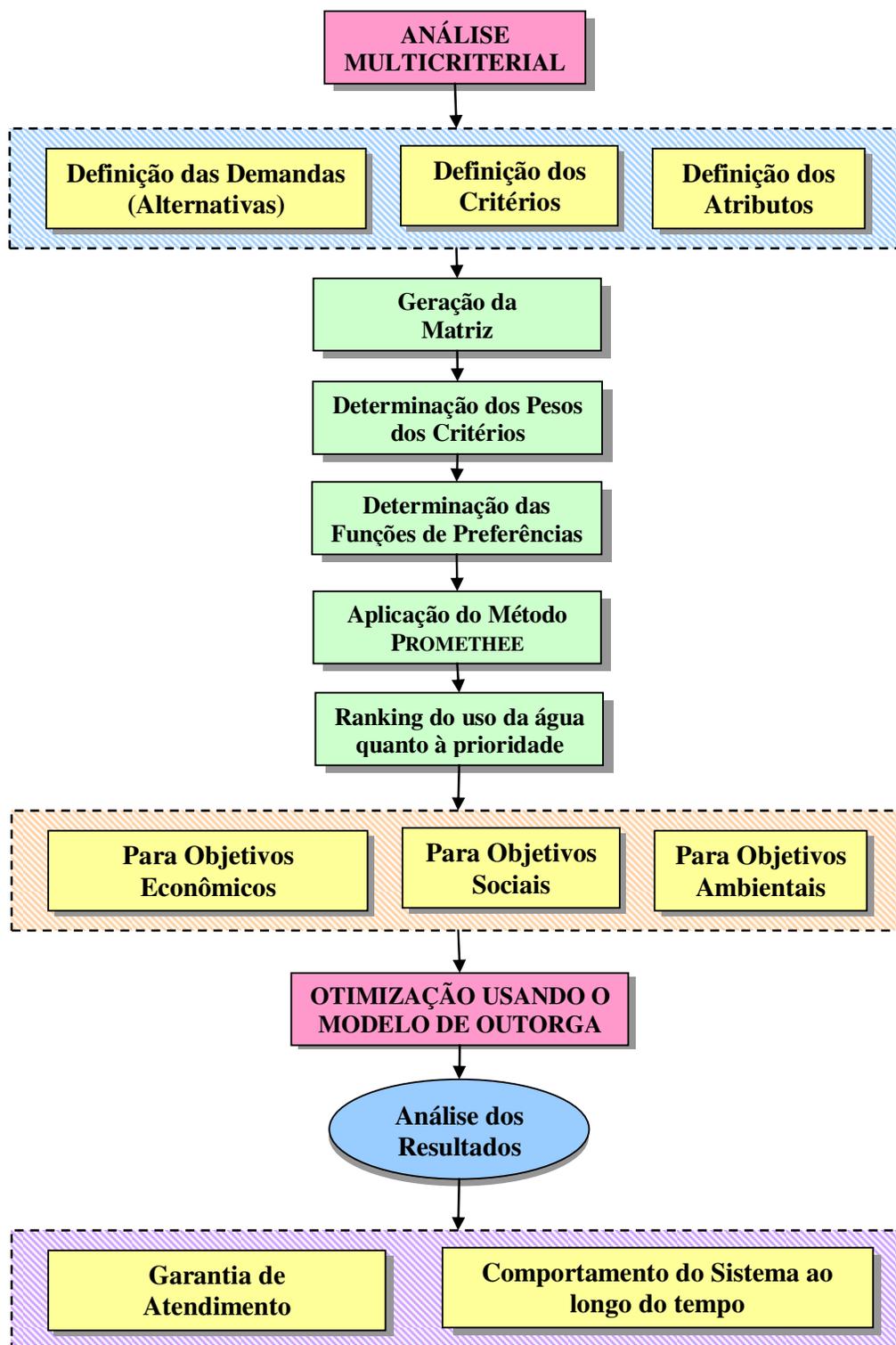


Figura 5.1 - Fluxograma da Metodologia Utilizada.

## **5.1 METODOLOGIA UTILIZADA PARA O MÉTODO PROMETHEE**

Para a implementação do Método Promethee é necessário que se tenha uma matriz de avaliação, definindo quais serão os critérios, as alternativas e os atributos que serão analisados.

### **5.1.1 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS ANALISADOS**

De acordo com Porto (1997) *apud* Santos (2004) a tomada de decisões em sistemas de recursos hídricos exige que sejam considerados aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil mensuração.

Os critérios utilizados neste trabalho foram baseados na literatura e adotados aqueles que mais correspondiam a disponibilidade de dados e que estavam relacionados aos principais problemas existentes na área de estudo. Baseado nisso, foram adotados os critérios econômicos, sociais e ambientais, para auxiliar à tomada de decisões na escolha do melhor ranking de alternativas (usos).

### **5.1.2 DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS**

As alternativas analisadas para a análise multicriterial são os usos da água referentes às atividades de irrigação em perímetros, irrigação difusa e piscicultura (extensiva e intensiva).

#### **5.1.2.1 IRRIGAÇÃO**

Para o estudo das demandas hídricas de irrigação à jusante do sistema Curema-Mãe D'Água considerou-se a irrigação difusa e a irrigação nos perímetros de Piancó I e das Várzeas de Sousa. A irrigação difusa é referente às pequenas áreas irrigadas ao longo do sistema e os perímetros irrigados são aqueles que abrangem grandes áreas de cultivos.

As culturas selecionadas para cada perímetro irrigado foram baseadas no trabalho de Lima (2004). A partir das aptidões agrícolas e dos sistemas de irrigação existentes nos perímetros o autor desenvolveu um plano de cultivo. As principais características técnicas dos projetos de irrigação encontram-se na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** – Características técnicas dos projetos de irrigação

Projeto	Fonte Hídrica	Área (ha)	Culturas previstas	Sistema de Irrigação
Piancó I	Reservatório Curema-Mãe D'Água	500	Banana, mamão, coco, manga, melancia, melão, milho, arroz, batata, cebola, tomate e feijão.	Gotejamento Microaspersão
Várzeas de Sousa	Reservatório Curema -Mãe D'Água	4.500	Manga, goiaba, maracujá, mamão, graviola, limão, uva, coco, melancia e melão.	Gotejamento
Irrigação Difusa	Reservatório Curema-Mãe D'Água	3.150	Banana, mamão, coco, goiaba, manga, milho, arroz, batata, cebola, tomate e feijão.	Sulcos Inundação

As culturas de melancia, melão, milho, arroz, batata, cebola, tomate e feijão são temporárias (sazonais), sendo cultivadas duas vezes ao ano, na safra (s) e na entressafra (es) e as culturas de banana, mamão, coco, manga, goiaba, maracujá, graviola, limão e uva como perenes ou semi-perenes. Na Tabela 5.2, a seguir, encontra-se o plano de cultivo e seus respectivos coeficientes de cultivo ( $Kc$ ). Os valores de  $Kc$  para as culturas perenes foram considerados na fase de produção.

**Tabela 5.2** – Distribuição dos coeficientes mensais de cultivo ( $Kc$ )

Culturas	Meses do ano hidrológico											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Sazonais</b>	<b>Safra</b>						<b>Entressafra</b>					
Melancia			0,41	1,10	0,86				0,41	1,10	0,86	
Melão			0,54	0,96	1,01				0,54	0,96	1,01	
Milho		1,10	1,31	0,82				1,10	1,31	0,82		
Arroz		1,10	1,10	1,10	1,10			1,10	1,10	1,10	1,10	
Batata		0,45	0,75	1,15	0,85			0,45	0,75	1,15	0,85	
Cebola			0,55	0,62	0,97	0,81			0,55	0,62	0,97	0,81
Tomate			0,58	0,72	0,85	0,65			0,58	0,72	0,85	0,65
Feijão		0,67	0,80	1,00	0,91			0,67	0,80	1,00	0,91	
<b>Perenes</b>												
Banana	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Mamão	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Coco	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Manga	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Goiaba	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Maracujá	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Limão	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Graviola	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Uva	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Na Tabela 5.3 serão apresentados os dados referentes às características das culturas selecionadas para esse estudo. Os valores da produtividade das culturas ( $Prod$ ), custo de

produção (*Cprod*) e mão-de-obra requerida das culturas (*Hdc*) foram retirados do Manual de Orçamento Agropecuário do Banco do Nordeste S/A (2006). O preço médio de comercialização (*Prc*) das culturas foi obtido da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas *apud* Silva (2004)

Os dados referentes ao sistema de irrigação, sua eficiência de distribuição e seus requerimentos de pressão estão de acordo com Doorenbos e Kassam (2000) e Gomes (1999). As eficiências do sistema de aplicação estão de acordo com a Resolução nº 687 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2004).

**Tabela 5.3 – Dados das características das culturas e do sistema de irrigação**

Culturas	Prod (Kg/ha/ano)	Prc (R\$/Kg)	Cprod (R\$/ha/ano)	Hdc (hd/ha/ano)	Sistema de Irrigação	Esis	Eap	$\Delta H$ (mca)
<b>Sazonais (Temporárias)</b>								
Melancia (s)	25.000	0,15	2.330,00	115	Gotejamento	95	90	10
Melancia (es)		0,26						
Melão (s)	25.000	0,30	3.310,00	137	Gotejamento	95	90	10
Melão (es)		0,50						
Milho (s)	8.000	0,37	1.539,00	71	Microaspersão	90	90	20
Milho (es)		0,42						
Arroz (s)	5.000	0,40	2.338,00	118	Microaspersão	90	90	20
Arroz (es)		0,58						
Batata (s)	10.000	0,52	4.536,00	110	Microaspersão	90	90	20
Batata (es)		0,68						
Cebola (s)	15.000	0,22	3.060,00	219	Microaspersão	90	90	20
Cebola (es)		0,36						
Tomate (s)	40.000	0,34	4.658,00	252	Microaspersão	90	90	20
Tomate (es)		0,57						
Feijão (s)	1.200	0,67	1.432,00	61	Microaspersão	90	90	20
Feijão (es)		1,00						
<b>Perenes</b>								
Banana	40.000	0,40	4.691,00	213	Gotejamento	95	90	10
Mamão	15.000	0,45	4.208,00	161	Gotejamento	95	90	10
Coco	40.000	0,37	2.729,00	100	Gotejamento	95	90	10
Manga	15.000	0,48	3.770,00	151	Gotejamento	95	90	10
Goiaba	16.000	0,36	3.151,00	111	Gotejamento	95	90	10
Maracujá	10.000	0,63	2.947,00	142	Gotejamento	95	90	10
Limão	30.000	2,00	3.058,00	116	Gotejamento	95	90	10
Graviola	7.000	2,15	3.132,00	130	Gotejamento	95	90	10
Uva	40.000	2,00	23.916,00	785	Gotejamento	95	90	10

*Esis* – eficiência do sistema de distribuição de água; *Eap*- eficiência de aplicação da irrigação por cultura;  $\Delta H$  - altura manométrica média (em metros de coluna de água), requerido pelo sistema de irrigação.

Foram estabelecidas, neste estudo, duas culturas representativas: uma das culturas perenes e outra das culturas sazonais ou temporárias. Para tais culturas, foram adotadas as

médias dos seus coeficientes característicos, tais como: produtividade, preço médio de mercado, trabalho médio requerido, custo médio de produção, etc.

Consideraram-se também três situações de cultivo, quando se planta toda a área de cultivo só com culturas perenes (Perenes (100%)), toda a área de cultivo só com culturas sazonais (Sazonais (100%)) e quando se planta a área destinada à irrigação com culturas perenes e sazonais (Perenes (70%) e Sazonais (30%)), com o intuito de se avaliar qual seria a situação mais adequada para cada perímetro irrigado e para irrigação difusa.

### **5.1.2.2 PISCICULTURA**

Neste trabalho, para o reservatório Curema-Mãe D'Água é considerado a prática de criação da piscicultura extensiva e intensiva em tanques-redes com caráter comercial, onde os peixes existentes ou adicionados no manancial hídrico, não serão apenas para alimentar aos piscicultores. As espécies de peixes utilizadas por esse cultivo são: a carpa, tilápia e tambaqui, pelo fato de serem espécies resistentes as condições adversas.

#### **✓ PISCICULTURA INTENSIVA EM TANQUES-REDES**

A piscicultura intensiva é a atividade que trata da criação de peixes de maneira exclusiva, isto é, com controle de todos os elementos envolvidos na criação de peixes. Caracteriza-se pelo total controle das condições ambientais e limnológicas e seu objetivo é a máxima produção possível por unidade de área e tempo, empregando-se a alimentação artificial, favorecendo o aumento da produtividade piscícola associado com a melhoria da produtividade aquática por meio de adubos e corretivos nos tanques e viveiros. A piscicultura intensiva produz em média 15.000 kg/ha, com um custo médio de produção em torno de R\$ 25.000,00 reais/ha, incluindo insumos, mão-de-obra, energia, etc. Trata-se de um sistema de produção intensivo no qual os peixes são confinados sob altas densidades, dentro de estruturas que permitem grande troca de água com o ambiente de criação e onde os peixes recebem ração nutricionalmente completa e balanceada (Gisler et al., 2003 *apud* Pedreira, 2005).

A criação intensiva em tanques-rede ou gaiolas apresenta algumas vantagens em relação a criação em tanques ou viveiros escavados, como alta produtividade, eficiente controle populacional e sanitário, facilidade na despesca, dispensa da movimentação de terra e do alagamento de novas terras, fácil arraçoamento, maior proteção contra predadores naturais,

baixas incidência e intensidade de problemas com o sabor desagradável do pescado (Ono e Kubitza, 2003; Sperandio, 2003).

A Tabela 5.4, a seguir, apresenta os dados de piscicultura intensiva.

**Tabela 5.4 - Dados da piscicultura intensiva**

<b>Piscicultura Intensiva</b>	
Produtividade (Kg/ha)	15.000
Preço médio (R\$/Kg) <sup>1</sup>	2,00
Custo médio de produção (R\$/ha) <sup>2</sup>	25.000,00
Mão-de-Obra fixa (hs/mês/ha) <sup>3</sup>	120

Fonte: Martins *et. al* (2003) *apud* Pedreira (2005)

<sup>1</sup>Valenti *et.al* (2000) *apud* Pedreira (2005)

<sup>2</sup>Rural News (2003) *apud* Pedreira (2005)

<sup>3</sup>Moreira *et al.* (2001) *apud* Pedreira (2005)

#### ✓ PISCICULTURA EXTENSIVA

Nesse sistema de criação extensiva de peixes, o piscicultor aproveita as instalações já existentes, como açudes, lagos naturais, represas, que tenham como principal finalidade outra função qualquer que não seja a criação de peixes. É um sistema caracterizado pelo povoamento e re-povoamento, onde a produção de biomassa é dependente dos alimentos naturais produzidos nos diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar desses ecossistemas. Neste caso não há interferência do homem no ambiente (Pedreira, 2005).

De acordo com Molle e Cadier (1992) a prática da piscicultura é atrativa na região nordeste por diversos fatores, dentre eles destacam-se:

- Baixos investimentos iniciais pela existência de reservatórios;
- Condições excelentes de luz e temperatura ambiente;
- Mínima interferência nos demais usos da água, visto que sua demanda é pouco expressiva;
- Praticada em áreas impróprias para a agricultura;
- Não requer fonte de energia artificial;
- Importante fonte alimentar, alto teor de proteína na carne de peixes comparados com as carnes bovinas e de aves.

A grande desvantagem desse sistema é a baixa produtividade, com média próxima de 200 kg/ha/ano. De acordo com Hussar e Arruda (2001), a taxa de estocagem máxima recomendada é de 2.000 alevinos/ha. As taxas de mortalidade dos alevinos são altas, principalmente se houver muitos predadores no ambiente aquático.

A Tabela 5.5 mostra os dados referentes à piscicultura extensiva em reservatórios. Esses dados foram baseados em informação do DNOCS.

**Tabela 5.5** – Dados da piscicultura extensiva

<b>Piscicultura Extensiva</b>	
Custo médio dos alevinos (R\$/ha/ano)	100,00
Produtividade média de pescado (Kg/ha/ano)	200,00
Preço médio de venda (R\$/Kg)	2,00
Despesa média anual por pescador (Kg/pescador/ano)	1.500,00

**Fonte:** DNOCS (2005)

### 5.1.3 DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS

Os critérios a serem avaliados foram subdivididos em sub-critérios, como pode ser observado na Figura 5.2, a seguir. No critério econômico foram considerados como sub-critérios a lucratividade e o prejuízo potencial que cada alternativa pode gerar. No critério social foram considerados a geração de empregos e a confiabilidade de atendimento no abastecimento humano. No critério ambiental foram considerados os prejuízos causados à fauna e à flora, possibilidade de erosão, o consumo hídrico das culturas e a qualidade da água.

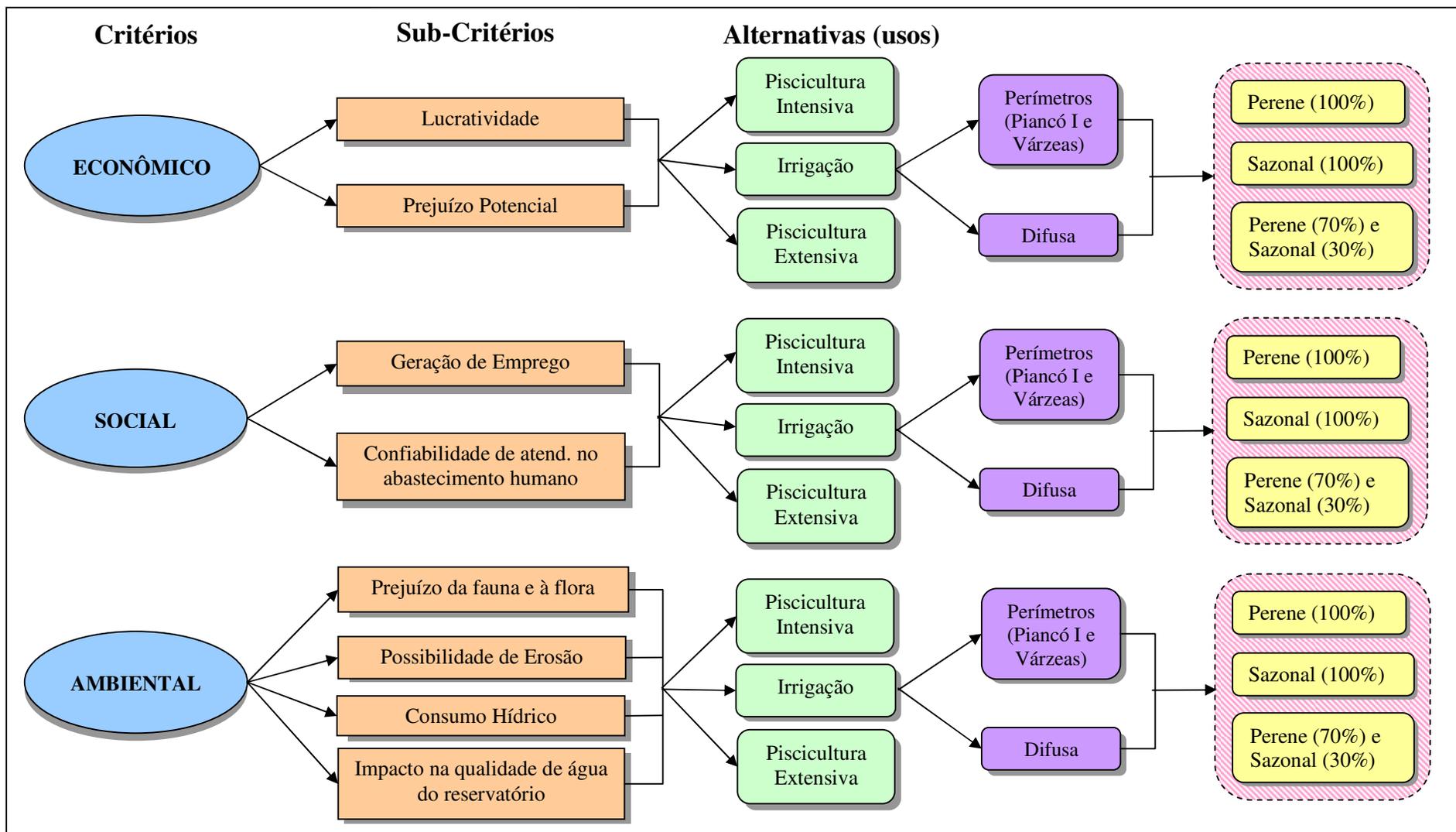


Figura 5.2 - Critérios; Sub-Critérios e Alternativas.

### 5.1.3.1 SUB-CRITÉRIOS SEGUNDO OBJETIVOS ECONÔMICOS

- **PARA IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS E DIFUSA**

- **Lucratividade**

A lucratividade ou receita líquida foi estimada como sendo o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida e os respectivos custos de produção gerada pelas áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura.

Portanto, a receita líquida, em (R\$/ano/cultura) é dada pela Equação 5.1, a seguir:

$$RL_j = \sum_{n=1}^{na} [Rb_j(n) - Cp_j(n) - Cb_j(n)] \quad 5.1$$

onde,

$Rb_j(n)$  – renda bruta anual da cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ ;

$Cp_j(n)$  – custo de produção anual da cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ ;

$Cb_j(n)$  – custo anual de bombeamento de água para a cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ ;

$n$  – relativo ao ano.

A renda bruta anual da cultura  $j$  ( $Rb_j(n)$ ), em R\$/ano/cultura, pode ser estimada pela Equação 5.2, a seguir:

$$Rb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} Prod_{jk}(n) \times Prc_j(n) \times Ac_{jk}(n) \quad 5.2$$

onde,

$ni$  – número de perímetros irrigados;

$Prod_{jk}(n)$  – produtividade da cultura agrícola  $j$  por unidade de área no perímetro irrigado  $k$  no ano  $n$ ;

$Prc_j(n)$  – preço atual de comercialização da cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ ;

$Ac_{jk}(n)$  – área irrigada para cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ .

O custo de produção anual da cultura  $j$  ( $Cp_j(n)$ ), em R\$/ano/cultura, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, entre outros, pode ser obtido pela Equação 5.3:

$$Cp_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} Cprod_{jk}(n) \times Ac_{jk}(n) \quad 5.3$$

onde,

$Cprod_{jk}(n)$  – custo atual de produção por unidade de área da cultura  $j$  referentes aos gastos relativos ao ano  $n$ .

$Ac_{jk}(n)$  – área irrigada para a cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ .

O custo anual de bombeamento de água,  $Cb_j$  (em R\$/ano/cultura) para as culturas irrigadas é obtido através da Equação 5.4:

$$Cb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \frac{0,02726 \times Pr b_k \times \Delta H_{jkt} \times CH_{jk}(n)}{\eta_k} \quad 5.4$$

onde,

$Pr b_k$  – preço da energia (em R\$/Kwh) para o perímetro irrigado  $k$ ;

$\Delta H_{jkt}$  – altura manométrica média (em metros de coluna de água), requerido pelo sistema de irrigação da cultura  $j$  e aduzido para o perímetro irrigado  $k$  no mês  $t$ ;

$\eta_k$  – eficiência do sistema de bombeamento do perímetro irrigado  $k$ .

#### ▪ Prejuízo Potencial

O prejuízo potencial foi quantificado em função dos respectivos custos de produção gerados pela irrigação para cada tipo de cultura, da área irrigada e da falha total na irrigação. Ele foi obtido pela Equação 5.5.

$$Pp_j(n) = Cprod_j(n) \times Ac_{jk}(n) \times Flh_{(T)} \quad 5.5$$

onde,

$Pp_j(n)$  – prejuízo potencial da cultura  $j$  no ano  $n$ ;

$Cprod_{jk}(n)$  – custo atual de produção por unidade de área da cultura  $j$  referentes aos gastos relativos ao ano  $n$ ;

$Ac_{jk}(n)$  – área irrigada para a cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ .

$Flh_{(T)}$  – Falha total na irrigação.

- **PARA PISCICULTURA INTENSIVA E EXTENSIVA**

- **Lucratividade**

A lucratividade para piscicultura extensiva foi estimada pela Equação 5.6, a seguir.

$$RL_j = \sum_{n=1}^{na} [Prod_j(n) \times Prc] \quad 5.6$$

Onde,

$Prod_j(n)$  – produtividade da piscicultura;

$Prc$  – Preço médio de venda do pescado.

Para piscicultura intensiva, a lucratividade foi estimada como o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida e os respectivos custos de produção (custo dos alevinos, ração, mão-de-obra).

Logo, a receita líquida, em (R\$/ha/ano) é dada pela Equação 5.7, a seguir:

$$RL_j = \sum_{n=1}^{na} [Rb_j(n) - Cprod_j(n)] \quad 5.7$$

Onde,

$Rb_j(n)$  – renda bruta anual da piscicultura ( $j$ ) no ano  $n$ ;

$Cprod_j(n)$  – custo de produção da piscicultura ( $j$ ) no ano  $n$ .

- **Prejuízo Potencial**

Para piscicultura extensiva não há prejuízo potencial, pois ela é caracterizada por uma pesca esportiva.

Para a piscicultura intensiva o prejuízo potencial foi estimado como sendo os respectivos custos de produção anual.

### 5.1.3.2 ATRIBUTOS SEGUNDO OBJETIVOS SOCIAIS

- **PARA IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS E DIFUSA**

- **Geração de Emprego**

A mão-de-obra total empregada  $MO$  (em Hd/ano) requerida pelas culturas agrícolas nos perímetros irrigados é dada pela Equação 5.8, a seguir:

$$MO_j = \sum_{n=1}^{na} \sum_{k=1}^{ni} Hdc_{jk}(n) * Ac_{jk}(n) \quad 5.8$$

onde,

$Hdc_{jk}$  – mão-de-obra, por unidade de área, requerida pela cultura agrícola  $j$  no perímetro irrigado  $k$ ;

$Ac_{jk}(n)$  – área irrigada para a cultura agrícola  $j$  no ano  $n$ .

$Hd$  – homem/dia

Para a irrigação difusa a mão-de-obra total empregada  $MO$  (em Hd/ano) para as culturas foi multiplicada por dois, de forma a deixar os dados mais reais, por se tratar de um sistema de agricultura familiar onde muitos membros da família estão envolvidos com esse tipo de trabalho.

- **Confiabilidade de Atendimento no Abastecimento Humano**

A confiabilidade de atendimento no abastecimento foi estimada através da Equação 5.9. Este parâmetro tem como finalidade analisar o quanto a demanda hídrica utilizada para irrigação afeta na disponibilidade de água para o abastecimento humano.

A falha total foi obtida através de uma simulação realizada com o uso do ACQUANET, que é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Este modelo também se adapta bem para análise individual de um reservatório e, os resultados gerados pelo modelo são adequados às necessidades de informação requerida por este trabalho.

$$Cfb_{(T)} = 1 - Flh_{(T)}$$

5.9

onde,

$Cfb_{(T)}$  - confiabilidade

$Flh_{(T)}$  – falha total no abastecimento

- **PARA PISCICULTURA INTENSIVA E EXTENSIVA**

- **Geração de Emprego**

Na piscicultura intensiva, a geração de emprego foi estimada em função da mão-de-obra fixa (Tabela 5.4). Foi considerado que uma diária corresponde a oito horas por dia de trabalho.

A geração de emprego na piscicultura extensiva foi estimada através da despesa média anual por pescador e pela produtividade média de pescado (valores encontrados na Tabela 5.5).

- **Confiabilidade de Atendimento no Abastecimento Humano**

A prática de piscicultura intensiva e extensiva não interfere quantitativamente no atendimento dos demais usos da água, visto que, nesse tipo atividade a demanda, em geral, é pouco expressiva. Logo, a confiabilidade de atendimento no abastecimento é de 100%.

### 5.1.3.3 ATRIBUTOS SEGUNDO OBJETIVOS AMBIENTAIS

- **PARA IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS E DIFUSA**

- **Prejuízo da Fauna e da Flora**

A irrigação acarreta impacto tanto na fauna quanto na flora, contudo é difícil, quantificar com precisão estes impactos. Diante disso, para a análise multicriterial das alternativas serão considerados os impactos na fauna e na flora da região, em função da área a ser utilizada para irrigação.

- **Possibilidade de Erosão**

O desmatamento de áreas para o cultivo da agricultura contribui para o aumento da erosão do solo, que deve ser minimizada através de adequadas técnicas de irrigação e de plantio para que esse fenômeno possa ocorrer de forma moderada (Santos, 2004).

A possibilidade de erosão foi estimada, neste estudo, em função da área irrigada.

- **Consumo Hídrico**

O consumo hídrico da cultura agrícola é determinado como a quantidade de água alocada para irrigação, isto é, a lâmina de rega. Num primeiro passo, calcula-se a necessidade hídrica máxima mensal dessa planta para desempenhar as suas atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calcula-se a taxa de evapotranspiração potencial mensal ( $ETP_{jkt}$ ) da cultura agrícola  $j$  no perímetro irrigado  $k$  durante o mês  $t$ , que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evaporação de referência no mês  $t$  no perímetro irrigado  $k$  ( $ETO_{kt}$ ), obtida da Equação 5.10, a seguir:

$$ETO_{kt} = Kt_{kt} * Ev_{kt} \quad 5.10$$

onde,

$Kt_{kt}$  – coeficiente do tanque evaporimétrico do perímetro irrigado  $k$  no mês  $t$ ;

$Ev_{kt}$  – taxa de evaporação mensal de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A no perímetro irrigado  $k$ ;

A evapotranspiração potencial mensal ( $ETP_{jkt}$ ) é obtida pela Equação 5.11, a seguir:

$$ETP_{jkt} = kc_{jt} * ETO_{kt} \quad 5.11$$

onde,

$kc_{jt}$  – coeficiente de cultivo mensal da cultura agrícola  $j$  que reflete a sua necessidade hídrica no mês  $t$

$ETO_{kt}$  - Evapotranspiração de referência no mês  $t$  no perímetro irrigado  $k$ .

Para se determinar a lâmina de rega é necessário calcular a taxa de precipitação que infiltra no solo, que fica efetivamente a disposição das plantas, ou seja, a precipitação efetiva no mês  $t$  no perímetro irrigado  $k$  ( $Pe_{kt}$ ) em mm/mês, na região a ser irrigada, que pode ser estimada pelas Equações 5.12 e 5.13, para terrenos com declividades entre 4% e 5%, segundo especificações da FAO (1988) *apud* Curi e Curi (2001):

$$Pe_{kt} = 0,8 * P_{kt} - 25, \text{ para } P_{kt} \geq 75\text{mm} \quad 5.12$$

$$Pe_{kt} = 0,6 * P_{kt} - 10, \text{ para } P_{kt} < 75\text{mm} \quad 5.13$$

onde,

$P_{kt}$  – taxa de precipitação no mês  $t$  no perímetro irrigado  $k$ . (em mm)

A necessidade hídrica suplementar ( $Nl_{jkt}$ ) da cultura agrícola  $j$ , no perímetro  $k$  durante o mês  $t$ , ou a lâmina de rega suplementar que a planta necessita, para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo, pode ser estimada pela Equação 5.14, a seguir:

$$Nl_{jkt} = ETP_{jkt} - Pe_{kt} \quad 5.14$$

A quantidade de água a ser captada para cada tipo de cultura agrícola  $j$  dependerá, também, da eficiência do sistema de irrigação, ( $Eirr_{jk}$ ), obtida pelo produto entre a eficiência do sistema de distribuição de água para cada perímetro irrigado  $k$  ( $Esis_{jk}$ ) e da eficiência da aplicação da irrigação por cultura ( $Eap_j$ ), como mostra a Equação 5.15:

$$Eirr_{jk} = Eap_j * Esis \quad 5.15$$

Logo, a lâmina mensal de água para a irrigação da cultura agrícola  $j$  no perímetro irrigado  $k$  durante o mês  $t$  ( $Qirr_{jkt}$ ), transformada em vazão por unidade de área fornecida pelo sistema, pode ser obtida pela Equação 5.16:

$$Qirr_{jkt} = \frac{Nl_{jkt}}{Eirr_{jk}} \quad 5.16$$

Assim o consumo hídrico anual no ano  $n$  da cultura agrícola  $j$  no perímetro irrigado  $k$  será dado pela Equação 5.17, a seguir:

$$CH_{jk}(n) = \sum_{n=1}^{na} \sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} Q_{irr_{jkt}} * Ac_{jk} \quad 5.17$$

onde,

$na$  – número de anos;

$Ac_{jk}(n)$  – área plantada com a cultura  $j$  no perímetro irrigado  $k$  no ano  $n$ .

#### ▪ Qualidade de Água

De acordo com Araújo e Santaella (2001), a qualidade de água é o termo empregado para expressar a adequabilidade desta para os mais variados fins: abastecimento doméstico, uso industrial e agrícola, para recreação, dessedentação animal, aquíicultura, piscicultura, etc.

Na irrigação, a qualidade da água é afetada fortemente através do carreamento de agrotóxicos e fertilizantes utilizados.

Neste trabalho, a qualidade de água foi estimada através de uma análise quantitativa. Utilizou-se o parâmetro “1” se o uso específico afeta na qualidade da água e “0” caso contrário. No caso da irrigação do perímetro de Piancó I e da irrigação difusa foi verificado que afeta diretamente na qualidade de água do reservatório Curema-Mãe D’Água devido a estar situado muito próximo ao reservatório. Já a irrigação das Várzeas de Sousa não afeta, pois está localizado mais distante do reservatório.

#### ▪ PARA PISCICULTURA EXTENSIVA E INTENSIVA

##### ▪ Prejuízo da Fauna e da Flora

A piscicultura extensiva e intensiva, realizada em reservatórios já existentes, não provoca nenhum prejuízo a fauna e a flora. Sendo assim, esse atributo foi considerado nulo na matriz de avaliação.

- **Possibilidade de Erosão**

Como a piscicultura extensiva e intensiva, em reservatórios já existentes, não causa erosão esse atributo foi considerado nulo.

- **Consumo Hídrico**

Como a atividade da piscicultura intensiva e extensiva é desenvolvida dentro do reservatório, foi considerado que não existe, neste caso, consumo hídrico requerido pela piscicultura.

- **Qualidade de Água**

Na piscicultura extensiva foi considerado que a qualidade da água não é tão afetada quanto na piscicultura intensiva.

Foi realizada uma análise utilizando o parâmetro “1” se o uso específico afeta na qualidade da água e “0” caso contrário, foi considerado que a piscicultura extensiva provoca modificações mínimas no ambiente aquático e a piscicultura intensiva em tanques-redes altera a qualidade da água devido ao aporte de matéria orgânica.

#### **5.1.4 DADOS UTILIZADOS**

- **Dados de Evaporação**

A estimativa da evaporação pode ser baseada 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 à 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 0,60 e 0,80 (Paiva e Paiva, 2003). Neste trabalho utilizou-se o valor de 0,75. As Tabelas 5.6 e 5.7, a seguir, apresentam os valores de evaporação e do coeficiente  $Kt$  para cada posto climatológico utilizado.

Para essa pesquisa, foram considerados os dados de evaporação média mensal do Posto climatológico de Coremas para o perímetro irrigado de Piancó I e para irrigação difusa e para o perímetro das Várzeas de Sousa foram utilizados os dados do posto climatológico de Sousa. Foram considerados os postos mais próximos possíveis do reservatório e do perímetro irrigado.

**Tabela 5.6** – Evaporação Média Mensal do Tanque Classe A do Posto de Coremas (mm)

Posto	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Coremas	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6
<i>Kt</i>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Fonte: PDRH/1997

**Tabela 5.7** – Evaporação Média Mensal do Tanque Classe A do Posto de Sousa (mm)

Posto	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sousa	249,0	198,3	196,5	169,2	175,2	181,4	212,5	262,4	275,6	298,6	283,4	277,0
<i>Kt</i>	0,77	0,79	0,78	0,92	0,93	0,91	0,80	0,81	0,77	0,78	0,76	0,76

Fonte: PDRH/1997

#### ▪ Dados de Pluviometria

Os dados de pluviometria foram obtidos através da ANA (Agência Nacional de Água). Foram considerados os postos de pluviométricos de Coremas e de Sousa por estarem situados próximos ao reservatório e aos perímetros irrigados. Os valores das séries pluviométricas dos respectivos postos encontram-se no Apêndice A.

A classificação do ano a ser utilizado é baseada na técnica dos quantis definida por Xavier *et al.*, (2002) *apud* Silva *et al.*, (2004), recomendada pelo Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba (LMRS), para a identificação e avaliação da qualidade da precipitação no Estado da Paraíba. Para tanto, tomou-se como base as categorias aplicadas para o Estado do Ceará, as quais são estatisticamente classificadas como Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso (Santos, 2007).

Na Paraíba a classificação por quantis foi aplicada a regiões pluviometricamente homogêneas de acordo com o trabalho desenvolvido por Silva (1996) *apud* Silva (2004). Como resultado obteve-se a divisão do estado da Paraíba em seis regiões pluviometricamente homogêneas. A Bacia Hidrográfica do Rio Piancó está inserida em uma dessas regiões. Na Tabela 5.8 encontra-se os valores das faixas pluviométricas para cada categoria.

**Tabela 5.8 – Valores das faixas pluviométricas para cada categoria**

<b>Categorias</b>	<b>Faixas Pluviométricas (mm)</b>
Muito Seco	0,0 a 629,3
Seco	629,4 a 800,4
Normal	800,5 a 993,5
Chuvoso	993,6 a 1.170,4
Muito Chuvoso	Igual ou acima de 1.170,5

Fonte: LMRS

Com base na classificação definida acima, foi utilizado o ano de 1965, por ele ser um ano com as mesmas características climáticas nos dois postos pluviométricos estudados, para a realização dos cálculos do consumo hídrico das culturas analisadas.

Na Tabela 5.9 encontram-se os valores das precipitações dos dois postos pluviométricos para o ano de 1965.

**Tabela 5.9 – Precipitações Mensais (mm)**

<b>Posto</b>	<b>Ano 1965</b>												<b>Total</b>
	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	
Coremas	168,9	29,4	225,0	260,7	54,1	81,3	24,3	0,0	1,0	41,0	0,0	56,8	942,5
Sousa	194,0	25,0	221,8	323,8	65,2	61,2	15,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	909,0

Fonte: Site da Hidroweb

#### ▪ **Dados de Fluviometria**

Como o reservatório Curema-Mãe D'Água não possui dados de fluviometria disponíveis, a afluência foi obtida através da soma das vazões médias mensais dos três tributários (Emas, Piancó e Aguiar) ligados ao sistema. (Oliveira, 1998).

No Apêndice A encontra-se a série de vazões afluentes ao reservatório Curema-Mãe D'Água

Na Tabela 5.10 encontra-se a descrição dos postos pluviométricos e fluviométricos utilizados.

**Tabela 5.10 - Descrição dos postos pluviométricos e fluviométricos utilizados**

<b>Reservatório</b>	<b>Postos</b>	<b>Código</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Precipitação Anual média (mm)</b>
Curema-Mãe D'Água	Coremas	3844008	-37:58:0	-7:1:0	220	865,00
	Sousa	3833554	-38:14:0	-6:45:0	200	675,00

Fonte: Site da Hidroweb – www.ana.gov.br

A Tabela 5.11 apresenta a matriz de avaliação que será utilizada no Método Promethee II.

**Tabela 5.11 - Matriz de Avaliação**

	Atributos	Obj.	Unidade	Alternativas (usos)											Pesos (%)			
				Irrigação											Piscic. Inten. em tanques-redes no reserv.	Piscic. Exten.	Parcial	Total
				Perímetros						Difusa								
				Piancó I			Várzeas			Rep. Perene 100%			Rep. Sazonal 100%					
				Rep. Perene 100%	Rep. Sazonal 100%	Rep. Per (70%) Rep. Saz (30%)	Rep. Perene 100%	Rep. Sazonal 100%	Rep. Per (70%) Rep. Saz (30%)	Rep. Perene 100%	Rep. Sazonal 100%	Rep. Per (70%) Rep. Saz (30%)	Rep. Perene 100%	Rep. Sazonal 100%	Rep. Per (70%) Rep. Saz (30%)	10	11	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11								
Econômico	Lucratividade	Máx	R\$/ha/ano	6.675,25	2.459,37	5.410,49	16.036,90	3.230,00	12.129,55	1.021,40	1.494,67	1.163,38	5.000,00	400	Definir	Var		
	Prejuízo Potencial	Min	R\$/ha/ano	1.349,84	48,80	100,49	843,80	118,08	449,14	715,23	118,81	851,24	100,00	0,00	Definir			
														100%				
Social	Geração de empregos	Máx	(diar./ha/ano)	156,3	135,4	150,0	212,0	126,0	186,2	294	255,0	282,6	182,5	48,5	Definir	Var		
	Confiabilidade de atend.abast. humano.	Máx	%	96,97	97,73	97,73	84,09	96,21	91,67	87,12	96,21	91,67	100	100				
														100%				
Ambiental	Prejuízos da Fauna e Flora	Min	ha	500	500	500	5.000	5.000	5.000	3.150	3.150	3.150	0,00	0,00	Definir	Var		
	Possibilidade de Erosão	Min	ha	500	500	500	5.000	5.000	5.000	3.150	3.150	3.150	0,00	0,00	Definir			
	Consumo Hídrico	Min	m³/s	0,39	0,10	0,30	2,85	0,68	2,20	2,99	0,74	2,30	0,00	0,00	Definir			
	Qualidade de Água	Min	****	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	Definir			
														100%				
															Total	100%		

#### 5.1.4.1 PESOS E FUNÇÕES DE PREFERÊNCIAS

Os pesos representam numericamente a importância relativa que cada critério possui. Neste estudo, os pesos foram atribuídos de forma hierárquica em dois níveis de importância: nos atributos para satisfação dos aspectos técnicos que foram levados em consideração e nos critérios social, econômico e ambiental para uma representação mais geral.

Assim como no trabalho de Santos (2004), os níveis correspondentes aos atributos foram quantificados seguindo uma lógica técnica para se caracterizar as importâncias relativas destes, enquanto para o nível correspondente aos critérios econômico, social e ambiental foram adotados pesos variáveis para se caracterizar as várias opiniões dos possíveis decisores envolvidos no processo

As funções de preferências utilizadas no Método PROMETHEE expressam a essência da preferência de uma alternativa sobre a outra com relação a cada atributo. Procurou-se, quando possível, fazer uso de funções de preferências que pudessem incluir margens de erro ou tolerâncias tendo em vista que, ao estimar os valores para os atributos relativos às alternativas, eventuais erros poderão ser introduzidos nestes valores, desta maneira os parâmetros das funções possibilitarão a correção destes erros. (Santos, 2004).

Foram utilizadas para os atributos as funções de preferências dos tipos I, II, III e IV. Para a função do tipo II, o parâmetro  $q$  adotado foi de 10%, para a função do tipo III, o parâmetro  $p$  adotado foi de 5000 e para a função do tipo IV, o parâmetro  $q$  adotado foi de 90% e o parâmetro  $p$  adotado foi de 95%.

##### ▪ Critério Econômico

A determinação dos pesos para os atributos deste critério foi realizada através do grau de importância considerado para cada um. Tanto para irrigação (perímetros e difusa) e a piscicultura (extensiva e intensiva) foi considerado um peso de 60% para a lucratividade e de 40% para o prejuízo potencial, uma vez que esse atributo constitui um fato indesejável.

A Tabela 5.12, a seguir, apresenta as características dos atributos para o critério econômico.

**Tabela 5.12** – Funções de preferências e pesos para os atributos do critério econômico

<b>Critério Econômico</b>							
Descrição do Atributo	Obj.	Função de Preferência			Peso Parcial	Peso Total	
		Tipo	Parâmetros em % do valor mínimo				
			p	q			s
Lucratividade	Máx	II	-	10	-	60%	
Prejuízo Potencial	Min	II	-	10	-	40%	
Peso total do atributo					100%	Variável	

▪ **Critério Social**

Para o critério social a distribuição dos pesos também foi adotada de acordo com o grau de importância considerado para cada atributo.

De acordo com a Lei 9.433/97, que estabelece a política de recursos hídricos, em situações de escassez hídrica, o uso da água será prioritariamente para o consumo humano e a dessedentação de animais, por isso foi atribuído um peso de 70% para a confiabilidade de atendimento no abastecimento humano.

Para geração de emprego foi adotado um peso de 30% pois esse atributo visa maximizar a oferta de emprego gerada pela irrigação e piscicultura.

A Tabela 5.13 apresenta as funções de preferência e pesos para os atributos do critério social.

**Tabela 5.13** – Funções de preferências e pesos para os atributos do critério social

<b>Critério Social</b>							
Descrição do Atributo	Obj.	Função de Preferência			Peso Parcial	Peso Total	
		Tipo	Parâmetros em % do valor mínimo				
			p	q			s
Geração de emprego	Máx	II	-	10	-	30%	
Confiabilidade de atend. no abastecimento humano	Máx	IV	90	95	-	70%	
Peso total do atributo					100%	Variável	

▪ **Critério Ambiental**

Assim como para os outros critérios, os pesos adotados para o critério ambiental também foi adotado de acordo com o grau de importância considerado para cada atributo.

Como se trata de uma análise num reservatório já existente, os danos causados à fauna, a flora e a possibilidade de erosão são pequenos. Sendo assim, foram considerados com igual importância, por isso, foi adotado o peso de 10% para esses atributos.

O consumo hídrico requerido pelas culturas recebeu um peso de 50%, pois a falta de água para irrigação pode prejudicar o plantio das culturas e conseqüentemente gerar prejuízos tanto na lucratividade como na geração de emprego.

Para o impacto na qualidade de água foi considerado um peso de 30%, pois é de grande importância manter a qualidade do recurso hídrico de forma que tenha condições de atender aos variados usos (abastecimento, irrigação, piscicultura, etc).

A Tabela 5.14 apresenta as funções de preferência e pesos para os atributos do critério ambiental.

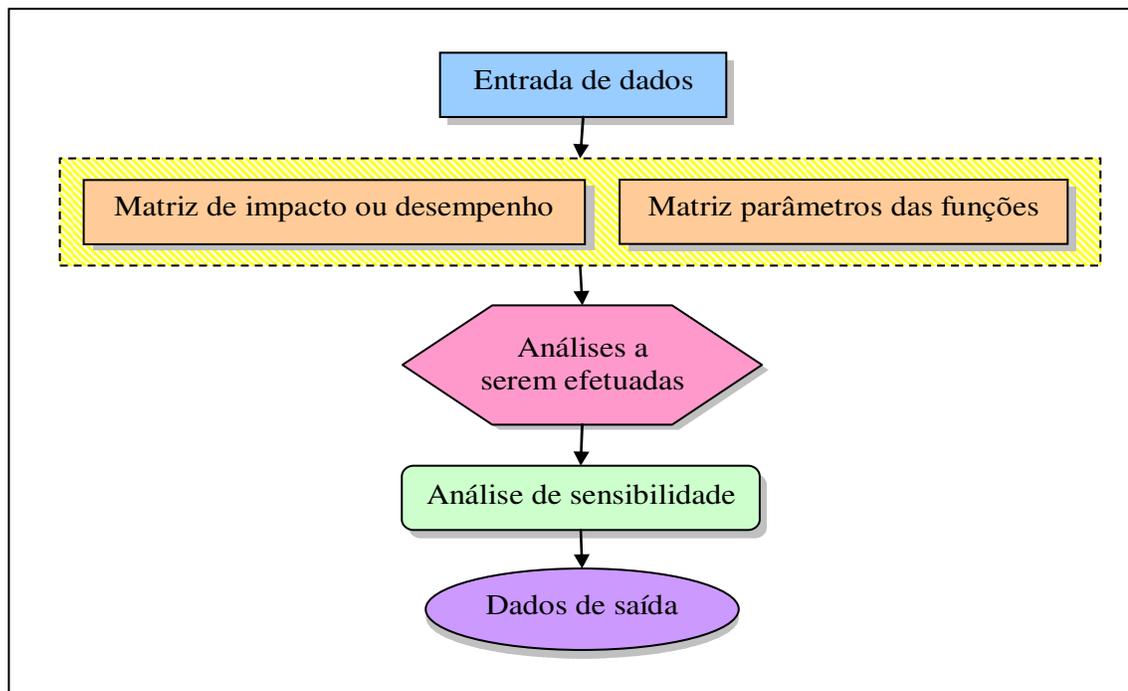
**Tabela 5.14 – Funções de preferências e pesos para os atributos do critério ambiental**

<b>Critério Ambiental</b>							
<b>Descrição do Atributo</b>	<b>Obj.</b>	<b>Função de Preferência</b>				<b>Peso Parcial</b>	<b>Peso Total</b>
		<b>Tipo</b>	<b>Parâmetros em % do valor mínimo</b>				
			<b>p</b>	<b>q</b>	<b>s</b>		
Prejuízo a fauna e a flora	Min	III	5000	-	-	10%	Variável
Possibilidade de erosão	Min	III	5000	-	-	10%	
Consumo hídrico	Min	III	0,39	-	-	50%	
Impacto na qualidade de água	Min	I	-	-	-	30%	
Peso total do atributo						100%	

**5.1.5 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE**

A implementação do Método Promethee foi baseada no trabalho realizado por Santos (2004).

Na Figura 5.3 é apresentado o organograma de funcionamento do Método PROMETHEE, que foi desenvolvido em ambiente Matlab.



**Figura 5.3** – Organograma de funcionamento do Método PROMETHEE

**Entrada de Dados** – A entrada de dados é composta pelo fornecimento da matriz de impacto ou desempenho onde é fornecido ao método o valor do critério (i) para ação (j) (valores da Tabela 5.13) e pela matriz parâmetros das funções, ou seja, deve-se informar se o problema é de maximização (1) ou de minimização (0), a função de preferência aplicada a cada critério, valores dos parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência) das funções de preferências e os pesos considerados (valor subjetivo para avaliação) para cada critério.

**Análises a serem efetuadas** – Nesta etapa a matriz dos fluxos de hierarquização (importância) é calculada pelo método PROMETHEE.

**Análise de Sensibilidade** – Deve ser redefinida uma matriz de pesos totais para os atributos devido as variações nos pesos parciais atribuídos a cada critério.

**Dados de saída** – Nesta etapa o programa fornece um arquivo com os dados de saída contendo a classificação das alternativas sob o ponto de vista de todos os critérios através de níveis hierárquicos.

## **5.2 METODOLOGIA UTILIZADA PARA O MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE OUTORGA**

Para analisar o processo de outorga no sistema Curema-Mãe D'Água e a jusante dele foi utilizado no modelo de outorga a ordem das alternativas (usos) definida através da análise multicriterial como ordem de prioridade no atendimento das demandas. Foi verificado a alocação de água para abastecimento, irrigação difusa, irrigação em perímetros e piscicultura quando o aspecto econômico, social e ambiental.

Os dados necessários para viabilizar o uso do modelo de otimização na análise de outorga no reservatório Curema-Mãe D'Água foram obtidos através do trabalho de Rodrigues (2007) e serão apresentados a seguir. Os dados de evaporação, precipitação e vazão afluentes são os mesmos descritos anteriormente.

### **5.2.1 DADOS DO RESERVATÓRIO**

#### **5.2.1.1 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME**

Para possibilitar a elaboração das curvas cota x área x volume utilizadas pelo programa, foi necessário obter a relação cota x área x volume do reservatório estudado. Essa relação encontra-se disponível no Cadastro de Açude do Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias do Alto Piranhas e Piancó (SCIENTEC, 1997).

#### **5.2.1.2 DEMANDAS OUTORGADAS NO SISTEMA CUREMA-MÃE D'ÁGUA E A JUSANTE DELE**

Como as barragens do sistema Curema-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, conforme dispõe a Lei Federal nº 9.984/2000, podendo esse órgão delegar poderes de outorga a AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

Os dados referentes às demandas outorgadas do sistema de reservatórios Curema-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 Curema-Açú, 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 Curema-Açu em trechos, listados de montante para jusante, como:

- I. Trecho nº 1: Curema.** Corresponde ao perímetro da bacia hidráulica dos reservatórios Curema 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 Curema 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 6: Rio Açu.** Corresponde ao trecho do Rio Açu, a partir da barragem 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 Curema-Mãe D'Água e no Rio Piranhas, ou seja, a bacia hidráulica dos reservatórios Curema 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 Curema-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 saíam dos reservatórios mais próximos, neste caso, o sistema Curema-Mãe D'Água.

Como foram considerados os reservatórios Curema e Mãe D'Água como um único sistema, utilizou-se a capacidade dos reservatórios juntos e permitiu que trabalhasse 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 Curema-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 5.15 traz um levantamento das vazões disponíveis para outorga, ligadas diretamente ao sistema Curema-Mãe D'Água e a jusante do sistema, segundo a Resolução da ANA nº 687/2004 que dispõe sobre o Marco Regulatório para a gestão dos Sistema Curema-Açu e estabelece parâmetros e condições para a emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos e declaração de uso insignificante.

**Tabela 5.15** – Vazões disponíveis para outorga no Sistema Curema-Mãe D'Água e a jusante segundo a Resolução da ANA nº 687.

Trecho	Finalidades	Vazão máxima disponível (m <sup>3</sup> /s)
Curema (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

Continuação – Tabela 5.15

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

Neste trabalho, as vazões de abastecimento difuso e adutora nos três trechos (Coremas, Rio Piancó e Rio Piranhas) foram somadas com 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 adotada como uma única demanda de outorga para abastecimento ligada ao Sistema Curema-Mãe D'Água. Para a irrigação difusa e em perímetros foi utilizado como demanda de outorga o consumo hídrico mensal de cada tipo de cultura como limite de alocação de água para concessão de outorga.

A demanda relativa à piscicultura extensiva não foi utilizada dentro do modelo de outorga por se tratar de um uso que ainda não é outorgado.

## **CAPÍTULO 6**

### **6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A análise e discussão dos resultados serão apresentadas nas seções seguintes. Na Seção 6.1 serão analisados os resultados obtidos com a aplicação do método multicriterial e na Seção 6.2 os resultados obtidos com a utilização do Modelo de Otimização para Outorga.

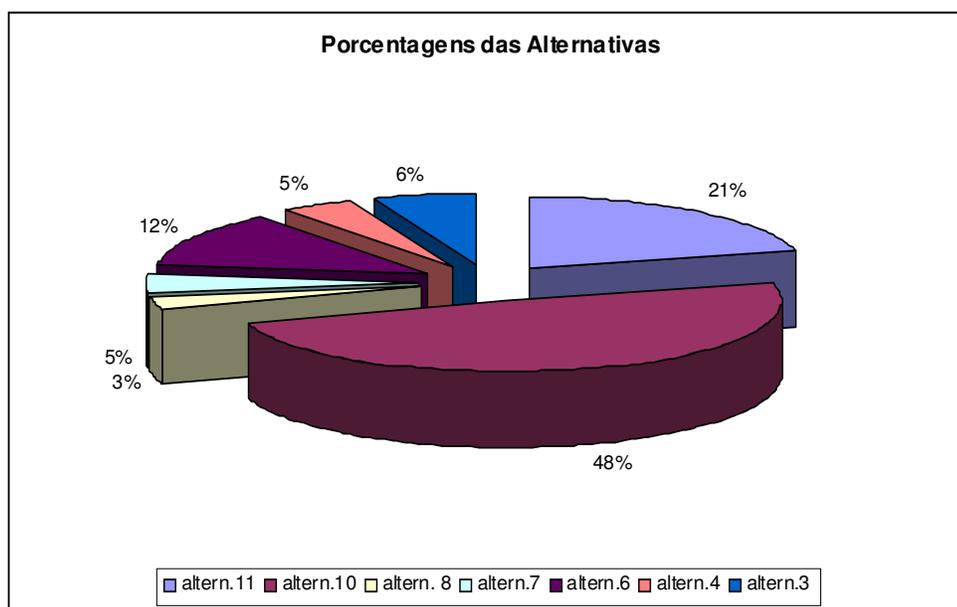
#### **6.1 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE MULTICRITERIAL**

A análise multicriterial foi realizada a partir da matriz de avaliação formada por 11 alternativas e 8 critérios, conforme mostrado na Tabela 5.11. Foram utilizadas 66 combinações de pesos para os critérios com a finalidade de exprimir a preferência do decisor conforme a variação desses pesos.

Baseado no trabalho de Santos (2004) foi feito uma análise de sensibilidade através de variações iguais a 10%, para o intervalo compreendido entre 0 e 100%, no peso para cada critério (econômico, social e ambiental) de tal forma que a soma dos pesos atribuídos aos três critérios resultasse em 100%. Sendo assim, foram estabelecidas várias definições de preferências dos decisores para subsidiar a escolha na ordem decrescente das melhores alternativas.

A ordenação das alternativas foi estabelecida a partir do Método PROMETHEE e das séries de valores atribuídos para os pesos dos critérios de avaliação considerados (Santos, 2004).

A Figura 6.1, a seguir, mostra as porcentagens das alternativas mais preferíveis pelo decisor, ou seja, aquelas que ocuparam a 1ª posição na ordem das alternativas nas 66 combinações de pesos para os critérios.



**Figura 6.1 - Porcentagem das alternativas mais preferíveis**

A análise da alocação de água para outorga, segundo cada ordem estabelecida para as alternativas de uso, será feita para quatro situações de preferências: quando for considerado o critério econômico com peso de 100%, o critério social com peso de 100%, o critério ambiental com peso de 100% e uma ordenação quando esses pesos forem distribuídos da seguinte forma, 30% para o critério social, 30% para o critério econômico e 40% para o critério ambiental. Desta forma, obteremos quatro ordenações para as alternativas de uso da água, segundo a priorização do aspecto econômico, a priorização do aspecto social, a priorização do aspecto ambiental e com prioridades equivalentes devido aos pesos atribuídos para cada critério.

Cada ordenação será usada no modelo de otimização de outorga, onde será verificada a garantia de atendimento às demandas e o comportamento do Sistema Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo.

### **6.1.1 ORDENAÇÃO SEGUNDO OS ASPECTOS ECONÔMICO E AMBIENTAL**

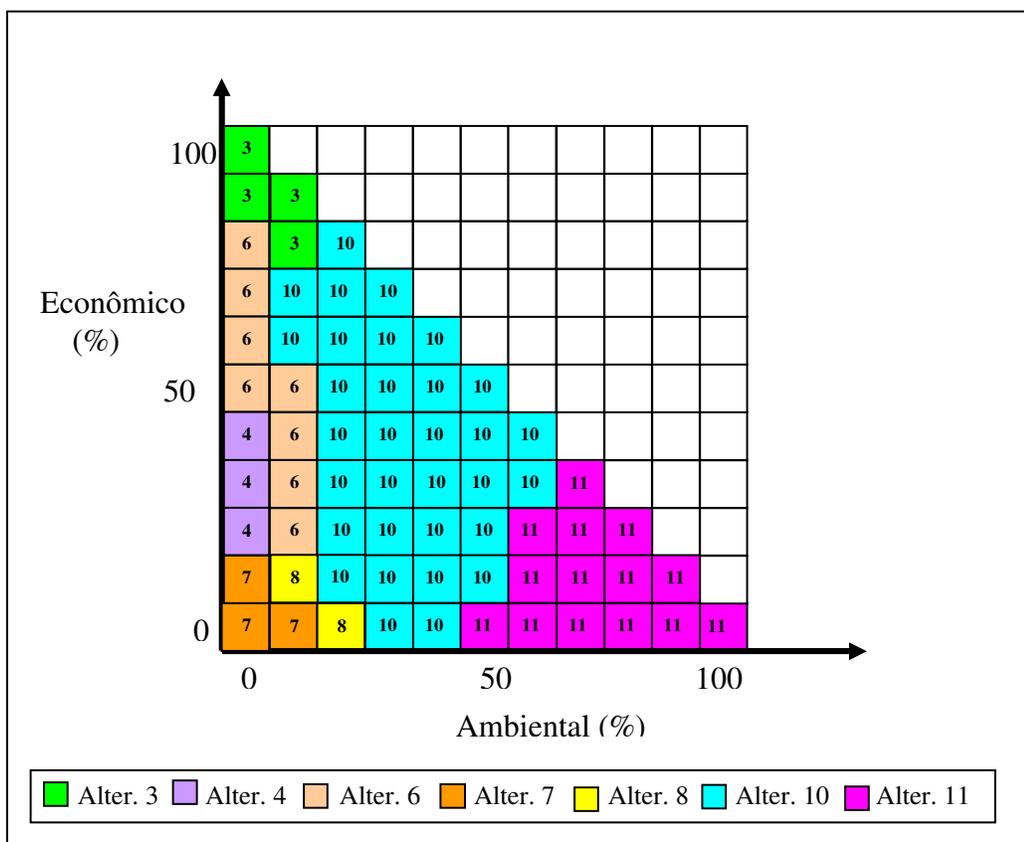
Analisando a Figura 6.2, a seguir, pode-se notar que, quando o peso do critério ambiental for nulo e o peso do critério econômico variar de 0 a 100%, as alternativas mais preferíveis serão as de número 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais), 6 (irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais), 4 (irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes) e 7 (irrigação difusa de

culturas perenes). No entanto quando o peso do critério ambiental for de 20% e do critério econômico variar de 10 a 80% a alternativa mais preferível passa a ser a 10 (piscicultura intensiva).

Quando a maior importância for concedida ao critério econômico, a alternativa 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais) será a mais preferível pelo decisor, enquanto, ao atribuir maior peso para o critério ambiental a alternativa preferencial será a alternativa 11 (piscicultura extensiva).

Ao admitir o critério social como sendo nulo (diagonal superior da Figura 6.2, na qual o somatório de cada elemento do critério econômico e ambiental representa 100%) e o critério econômico com pesos de 90 e 100%, respectivamente, a alternativa 3 é a de maior relevância. Quando o peso do critério econômico variar de 40 a 80% a alternativa 10 (piscicultura intensiva) passa a ser mais preferível. E se o peso do critério econômico estiver entre 0 e 30% a alternativa que lidera na ordenação é a 11 (piscicultura extensiva).

De acordo com a matriz de avaliação (Tabela 5.11 - Capítulo 5) pode-se observar que a ordenação das alternativas foi obtida quando o critério econômico gerou uma maior receita líquida e um menor prejuízo potencial e quando o critério ambiental minimizou os impactos causados na fauna e na flora, na qualidade de água, na erosão e no consumo hídrico.



**Figura 6.2** – As melhores alternativas de acordo com os critérios econômico e ambiental.

Uma visão da completa ordenação das alternativas para cada seleção de pesos pode ser visualizada através da Tabela 6.1. Considerando o peso do critério econômico 100% e dos demais critérios nulos a ordenação das alternativas ficou da seguinte forma: irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais, piscicultura intensiva, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas sazonais, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas sazonais, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes, irrigação difusa de culturas sazonais, piscicultura extensiva, irrigação difusa de culturas perenes e irrigação difusa de culturas perenes e sazonais.

**Tabela 6.1 – Ordenação das alternativas na análise multicriterial**

Pesos para os Critérios (%)			Ordem das Alternativas										
Econ.	Social	Amb.	Altern.1	Altern.2	Altern.3	Altern.4	Altern.5	Altern.6	Altern.7	Altern.8	Altern.9	Altern.10	Altern.11
0	0	100	7	4	5	8	3	6	11	9	10	2	1
0	10	90	7	4	5	8	3	6	11	9	10	2	1
0	20	80	7	4	5	9	3	6	11	8	10	2	1
0	30	70	7	3	6	9	4	5	11	8	10	2	1
0	40	60	8	3	6	9	4	5	11	7	10	2	1
0	50	50	9	4	7	8	5	3	11	6	10	2	1
0	60	40	10	5	9	6	8	4	11	3	7	1	2
0	70	30	10	8	11	5	9	3	6	2	4	1	7
0	80	20	7	8	9	6	10	5	3	1	2	4	11
0	90	10	7	8	9	4	10	5	1	3	2	6	11
0	100	0	7	8	11	4	9	5	1	3	2	6	10
10	0	90	7	4	5	8	3	6	11	9	10	2	1
10	10	80	7	4	5	8	3	6	11	9	10	2	1
10	20	70	7	4	5	8	3	6	11	9	10	2	1
10	30	60	7	5	6	8	3	4	11	9	10	2	1
10	40	50	9	5	6	7	4	3	11	8	10	1	2
10	50	40	9	8	6	5	7	3	11	4	10	1	2
10	60	30	10	8	6	4	7	2	11	3	9	1	5
10	70	20	10	8	7	4	9	3	6	2	5	1	11
10	80	10	8	9	7	4	10	3	2	1	5	6	11
10	90	0	8	9	7	4	10	5	1	2	3	6	11
20	0	80	7	5	4	8	3	6	11	9	10	2	1
20	10	70	7	5	4	8	3	6	11	9	10	2	1
20	20	60	8	6	4	7	3	5	11	9	10	2	1
20	30	50	8	6	4	7	5	3	11	9	10	1	2
20	40	40	9	7	4	6	5	2	11	8	10	1	3
20	50	30	9	8	4	3	7	2	11	5	10	1	6
20	60	20	10	7	5	3	6	2	9	4	8	1	11
20	70	10	9	10	7	2	8	1	5	4	6	3	11
20	80	0	8	10	7	1	9	3	4	2	6	5	11
30	0	70	8	6	3	7	4	5	11	9	10	2	1
30	10	60	8	6	3	7	4	5	11	9	10	1	2
30	20	50	8	6	3	7	5	4	11	9	10	1	2
30	30	40	8	7	3	6	5	2	11	9	10	1	4
30	40	30	9	7	3	4	5	2	11	8	10	1	6
30	50	20	8	7	4	3	6	2	11	5	10	1	9
30	60	10	9	8	5	3	6	1	7	4	10	2	11
30	70	0	9	10	5	1	8	2	6	4	7	3	11
40	0	60	8	6	3	7	4	5	11	9	10	1	2
40	10	50	8	6	3	7	5	4	11	9	10	1	2
40	20	40	8	7	2	6	5	3	11	9	10	1	4
40	30	30	9	7	3	4	5	2	11	8	10	1	6
40	40	20	9	7	4	3	5	2	10	6	11	1	8
40	50	10	8	7	4	3	6	1	9	5	11	2	10
40	60	0	8	9	4	1	6	2	7	5	10	3	11
50	0	50	8	7	2	6	5	4	11	9	10	1	3
50	10	40	8	7	2	6	4	3	11	9	10	1	5
50	20	30	8	7	2	4	5	3	11	9	10	1	6
50	30	20	9	6	3	4	5	2	10	7	11	1	8
50	40	10	8	7	4	3	5	1	10	6	11	2	9
50	50	0	8	7	4	2	6	1	9	5	10	3	11
60	0	40	8	7	2	5	4	3	11	9	10	1	6
60	10	30	8	7	2	4	5	3	11	9	10	1	6
60	20	20	8	6	3	4	5	2	10	9	11	1	7
60	30	10	8	6	3	4	5	2	10	7	11	1	9
60	40	0	8	7	4	2	5	1	9	6	11	3	10
70	0	30	8	7	2	4	5	3	11	9	10	1	6
70	10	20	8	6	2	4	5	3	10	9	11	1	7
70	20	10	7	6	3	4	5	2	10	8	11	1	9
70	30	0	8	7	4	2	5	1	10	6	11	3	9
80	0	20	8	6	2	4	5	3	10	9	11	1	7
80	10	10	7	6	1	4	5	3	10	8	11	2	9
80	20	0	8	6	2	3	5	1	10	7	11	4	9
90	0	10	7	6	1	4	5	3	10	9	11	2	8
90	10	0	7	6	1	4	5	2	10	8	11	3	9
100	0	0	7	6	1	4	5	2	10	8	11	3	9

### 6.1.2 ORDENAÇÃO SEGUNDO OS ASPECTOS SOCIAL E ECONÔMICO

Ao se conceder maior importância ao critério econômico, a alternativa 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais) será a mais preferível. No entanto, a alternativa de maior importância passa a ser a alternativa 7 (irrigação difusa de culturas perenes) quando atribuímos maior peso ao critério social, conforme pode ser observado na Figura 6.3.

De acordo com a diagonal superior da Figura 6.3, ao se considerar o peso do critério ambiental nulo e admitir pesos entre 90 e 100% para o critério social, a alternativa 7 (irrigação difusa de culturas perenes) será a de maior relevância. Quando o peso do critério social variar de 60 a 80%, a alternativa 4 (irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes) torna-se a mais preferível. No entanto, quando o peso do critério econômico for maior ou igual ao peso do critério social as alternativas mais preferíveis pelo decisor são as alternativas 6 (irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais) e 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais), respectivamente.

De acordo com a Tabela 6.1, quando o peso do critério social for 100% e dos demais critérios for nulo, tem-se a seguinte ordem para as alternativas de usos da água: irrigação difusa de culturas perenes, irrigação difusa de culturas perenes e sazonais, irrigação difusa de culturas sazonais, irrigação no perímetro irrigado das Várzeas de Sousa de culturas perenes, irrigação no perímetro irrigado das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais, piscicultura intensiva, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas sazonais, irrigação no perímetro irrigado das Várzeas de Sousa de culturas sazonais, piscicultura extensiva e irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais.

De acordo com a matriz de avaliação (Tabela 5.11 – Capítulo 5) a escolha das alternativas foi baseada no aumento da lucratividade, na minimização do prejuízo potencial e na maximização da geração de emprego e da garantia de atendimento no abastecimento humano.

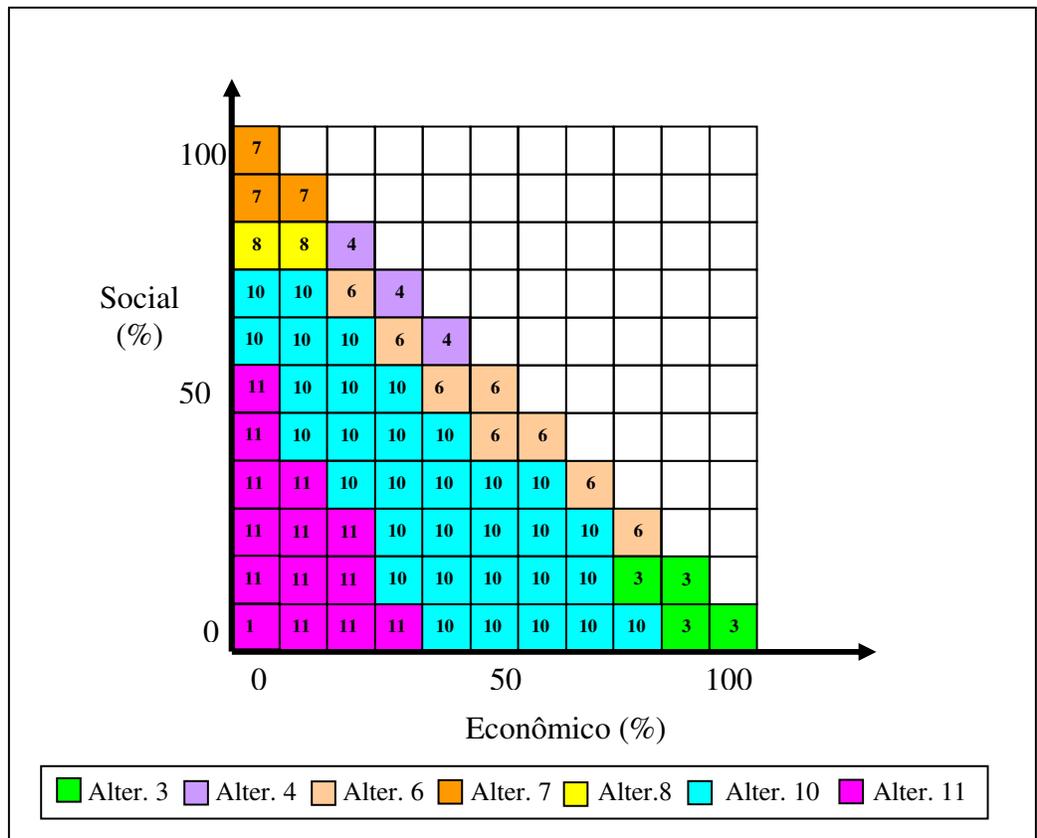


Figura 6.3 – Preferência na ordenação de acordo com o critério social.

### 6.1.3 ORDENAÇÃO SEGUNDO OS ASPECTOS AMBIENTAL E SOCIAL

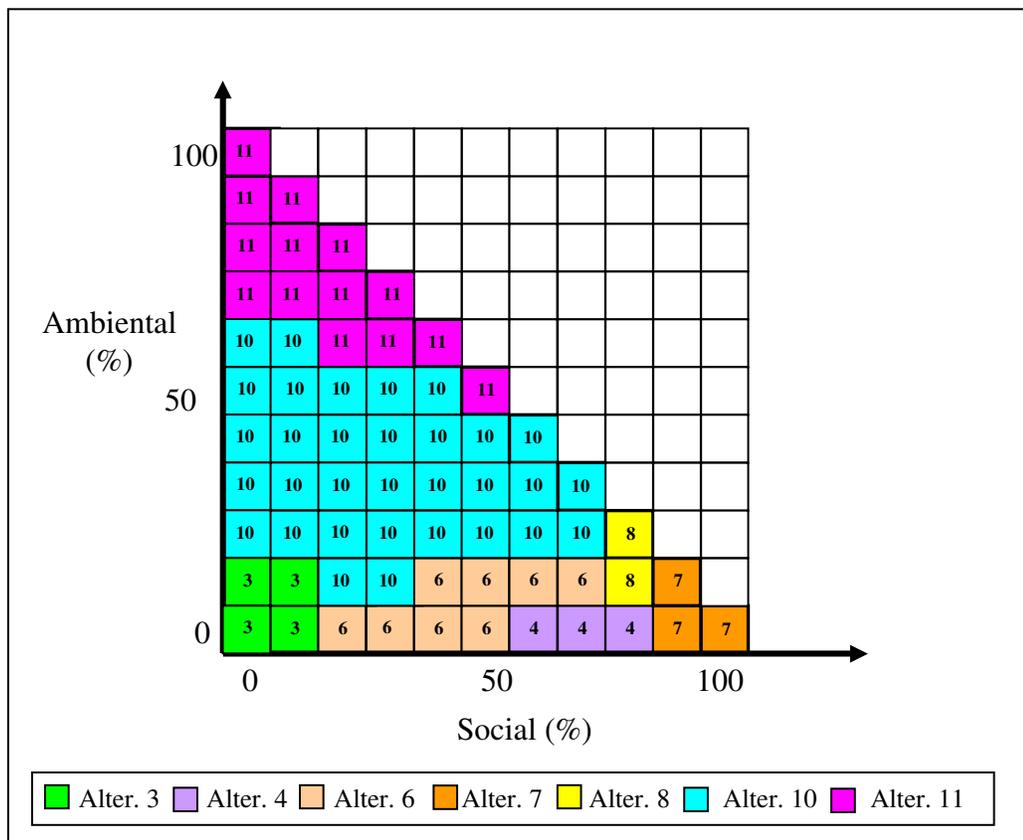
De acordo com a Figura 6.4, percebe-se que, quando o peso do critério social for nulo e o peso do critério ambiental variar de 0 a 100%, as alternativas mais preferíveis são 11 (piscicultura extensiva), 10 (piscicultura intensiva) e 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais).

Quando a maior importância for concedida ao critério social, a alternativa 7 (irrigação difusa de culturas perenes) será a mais preferível pelo decisor, enquanto, ao atribuir maior peso para o critério ambiental a alternativa preferencial será a alternativa 11 (piscicultura extensiva).

Considerando o critério econômico como sendo nulo (diagonal superior da Figura 6.4) e o critério ambiental com pesos variando de 70 a 100%, respectivamente, a alternativa 11 (piscicultura extensiva) é a de maior relevância. Quando o peso do critério social variar de 60 a 70% a alternativa 10 (piscicultura intensiva) passa a ser mais preferível. E se o peso do critério

social estiver entre 80 e 100% as alternativas que lideram nas ordenações são a 8 (irrigação difusa de culturas sazonais) e 7 (irrigação difusa de culturas perenes).

Conforme mostra a matriz de avaliação (Tabela 5.11 – Capítulo 5) a escolha das alternativas foi estabelecida através da maximização da mão-de-obra e da garantia de atendimento no abastecimento e da minimização dos impactos causados no meio ambiente.



**Figura 6.4** – Preferência na ordenação de acordo com o critério ambiental.

De acordo com a Tabela 6.1, quando o peso do critério ambiental for 100% e dos demais critérios for nulo, a ordem das alternativas será: piscicultura extensiva, piscicultura intensiva, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas sazonais, irrigação no perímetro irrigado de Piancó I de culturas sazonais, irrigação no perímetro irrigado de Piancó I de culturas perenes e sazonais, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais, irrigação no perímetro irrigado de Piancó I de culturas perenes, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes, irrigação difusa de culturas sazonais, irrigação difusa de culturas perenes e sazonais e irrigação difusa de culturas perenes.

#### **6.1.4 ORDENAÇÃO COM PESOS EQUILIBRADOS PARA OS CRITÉRIOS**

A ordenação das alternativas, com pesos equilibrados, foi realizada quando os critérios utilizados na análise multicriterial apresentaram os seguintes pesos: 30% para o critério econômico, 30% para o critério social e 40% para o critério ambiental.

De acordo com a Tabela 6.1, a ordem das alternativas fica da seguinte forma: piscicultura intensiva em primeiro lugar, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais, piscicultura extensiva, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas sazonais, irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas sazonais, irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes, irrigação difusa de culturas sazonais, irrigação difusa de culturas perenes e sazonais, irrigação difusa de culturas perenes.

A escolha da ordenação das alternativas pelo método PROMETHEE foi fundamentada na matriz de avaliação (Tabela 5.11 – Capítulo 5). O estabelecimento da ordenação das alternativas priorizou o aumento da lucratividade, diminuição do prejuízo potencial, maximização dos benefícios sociais (geração de emprego e garantia de atendimento no abastecimento) e a minimização dos impactos ambientais.

#### **6.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE OUTORGA**

Após realizada a análise multicriterial para definir a ordem de prioridade das demandas de acordo com critérios econômicos, sociais e ambientais, utilizou-se o modelo de outorga levando em consideração a priorização destes critérios. Desta forma, obteve-se a garantia de atendimento das demandas e o comportamento do Sistema Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo.

Nos itens a seguir, serão mostrados os resultados obtidos com a priorização de cada critério e quando se considera pesos equivalentes para os mesmos.

### 6.2.1 OUTORGA PRIORIZANDO O ASPECTO ECONÔMICO

A análise de outorga de usos da água, quando se priorizou o aspecto econômico, foi realizada através da utilização da ordenação de alternativas obtido no resultado da análise multicriterial, considerando um peso de 100% para esse critério e peso nulo para os critérios social e ambiental.

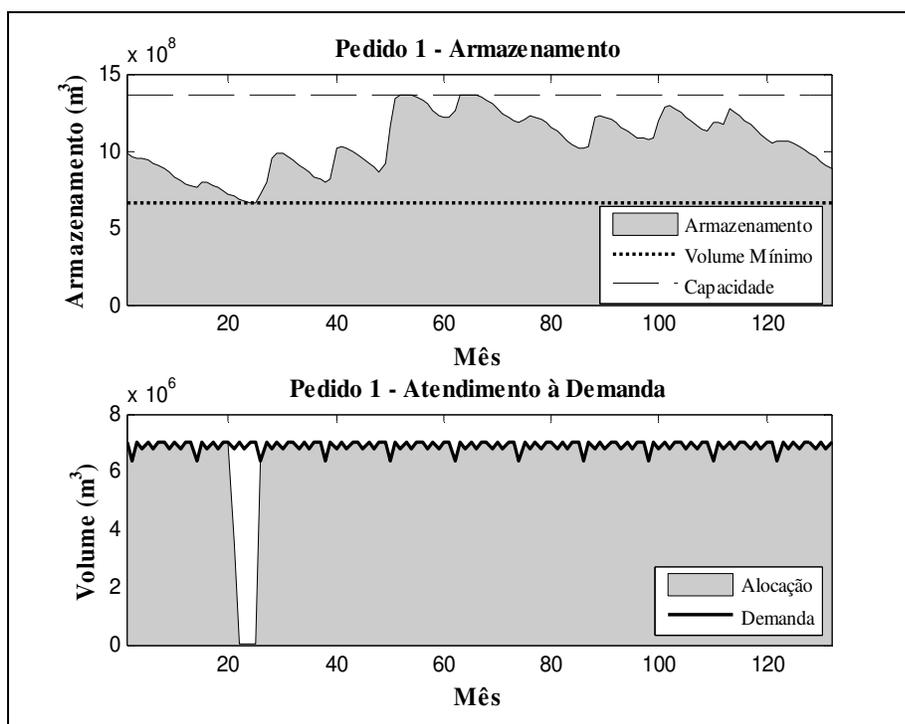
A Tabela 6.2, a seguir, apresenta as demandas médias e as garantias de atendimento referentes a cada pedido de outorga. De acordo com a Tabela 6.2 observa-se que apenas no pedido 1 (demanda destinada a abastecimento humano), considerado como prioritário, a garantia de atendimento é superior aos 90% exigidos pelo Decreto Estadual nº 19.260/ que regulamenta a outorga de uso da água no Estado.

**Tabela 6.2** – Demandas médias e garantias de atendimento dos reservatórios quando se prioriza o aspecto econômico

Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Curema-Mãe D'Água	1	Abastecimento	2,628	96,21
	2	Irrig. de culturas perenes e sazonais de Piancó I	0,305	80,99
	3	Irrig. de culturas perenes e sazonais das Várzeas de Sousa	2,227	71,07
	4	Piscicultura Intensiva	0,058	30,30
	5	Irrig. de culturas perenes das Várzeas de Sousa	2,847	21,48
	6	Irrig. de culturas sazonais das Várzeas de Sousa	0,687	10,91
	7	Irrig. de culturas sazonais de Piancó I	0,102	12,12
	8	Irrig. de culturas perenes de Piancó I	0,394	12,88
	9	Irrig. difusa de culturas sazonais	0,749	12,73
	10	Irrig. difusa de culturas perenes	3,032	12,88
	11	Irrig. difusa de culturas perenes e sazonais	2,347	12,88

O comportamento do reservatório ao longo do tempo e as garantias de atendimento às demandas, gerados pelo modelo de outorga, estão apresentados nas Figuras 6.5 a 6.12, a seguir.

A Figura 6.5, apresenta o comportamento do reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo dos meses simultaneamente com a retirada da demanda de abastecimento. No gráfico de armazenamento podem ser visualizados o volume mínimo e a capacidade máxima do reservatório, e no gráfico de atendimento à demanda são apresentados a alocação de água e os meses de falha de atendimento.



**Figura 6.5** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 1 quando se prioriza o aspecto econômico.

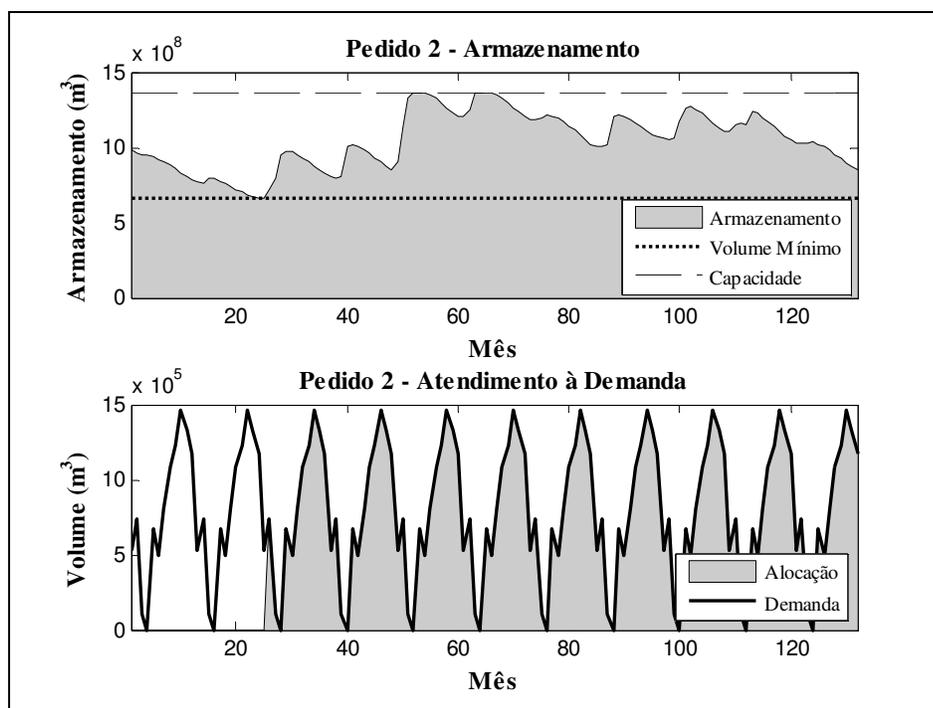
Pode-se observar na Figura 6.5, que na maior parte do tempo, a demanda é alocada satisfatoriamente. Apenas em um pequeno período ao longo da série percebe-se a ocorrência da falha, esse período corresponde exatamente aos meses em que ocorre uma queda considerável do armazenamento de água, chegando o reservatório inclusive, a atingir o seu volume mínimo. À medida que o reservatório recebe água e recupera-se, o atendimento a demanda é novamente satisfeito.

Como o gráfico referente ao pedido 1 (abastecimento) é igual para todas as situações, uma vez que o regime hidrológico e as demandas não sofreram variações, ele não será mostrado nos outros cenários de outorga.

As Figuras 6.6 a 6.8 mostram o comportamento do reservatório quando são consideradas as demandas de irrigação em perímetros (Piancó I e Várzeas de Sousa) e piscicultura intensiva, respectivamente.

De acordo com a Tabela 6.2, essas demandas foram atendidas com garantias de 80,99%, 71,07% e 30,30%, respectivamente.

O pedido 2, referente a irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro de Piancó I, requer uma vazão média de 0,305 m<sup>3</sup>/s (Tabela 6.2). Como se trata de uma demanda pequena, o reservatório consegue atender esse pedido com 80,99% de garantia.

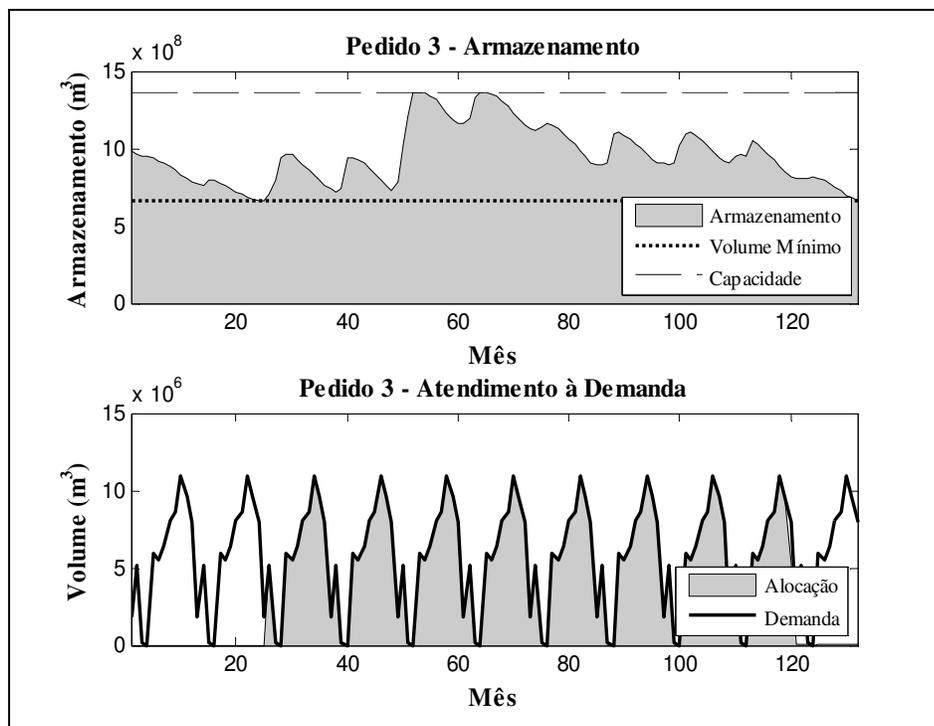


**Figura 6.6** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza o aspecto econômico.

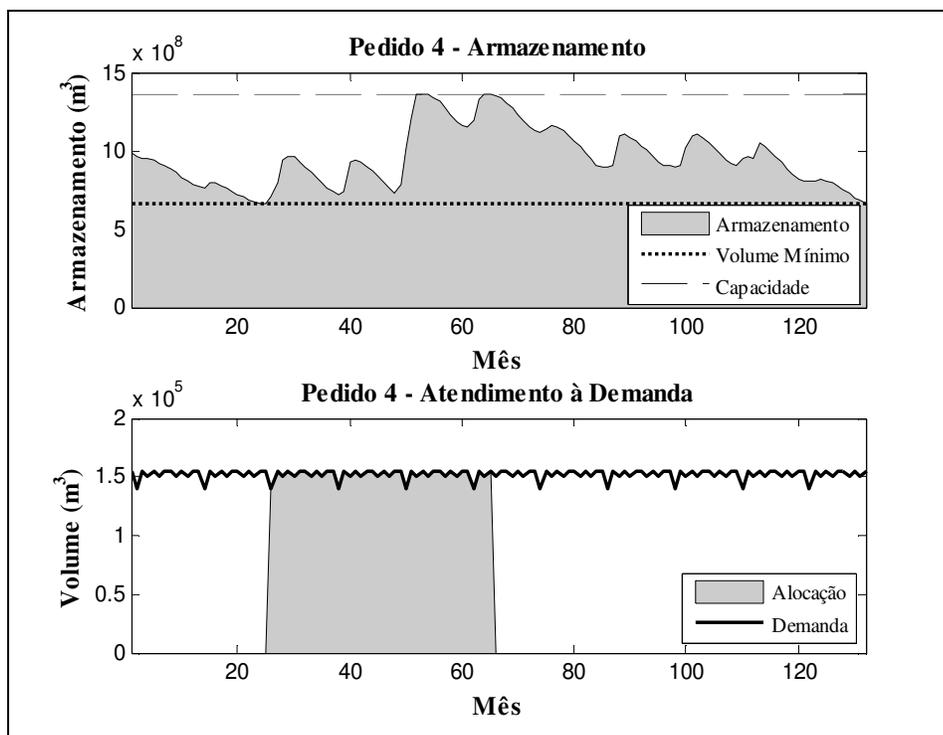
O pedido 3, referente a irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, necessita de uma demanda média de 2,227 m<sup>3</sup>/s e o reservatório atende a esse pedido com 71,07% de garantia. Já para o pedido 4, que se trata da demanda de piscicultura

intensiva, apesar da demanda requisitada ser pequena ( $0,058 \text{ m}^3/\text{s}$ ), o reservatório só consegue atender com 30,30% de garantia.

Essa diminuição de garantia no atendimento, principalmente nos pedidos 3 e 4, ocorre devido à diminuição no armazenamento de água no reservatório, chegando a atingir o volume mínimo.



**Figura 6.7** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza o aspecto econômico.

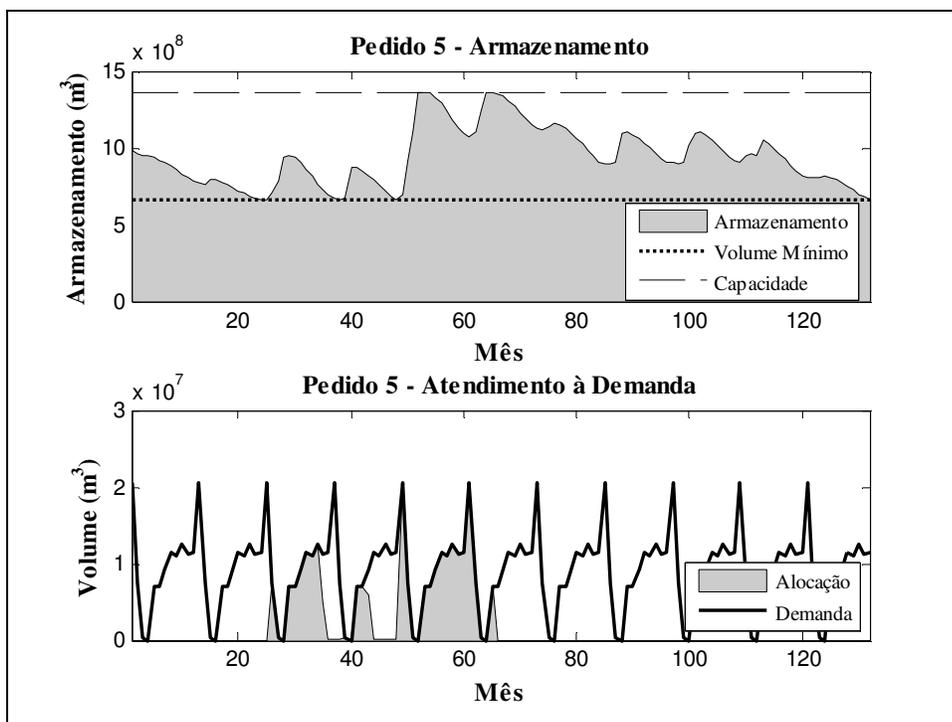


**Figura 6.8** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza o aspecto econômico.

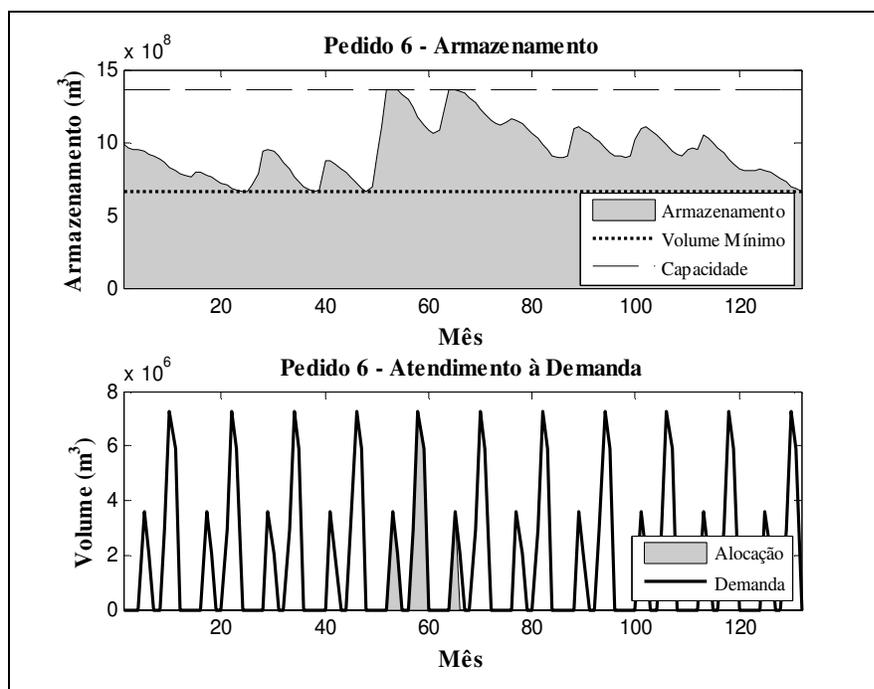
O comportamento do sistema Curema-Mãe D’Água para atender aos pedidos 5, 6, 7 e 8 pode ser visualizado nas Figuras 6.9 a 6.12, respectivamente.

Esses pedidos referem-se ao atendimento das demandas de irrigação nos perímetros de Piancó I e das Várzeas de Sousa. Pode-se observar através das Figuras 6.9 a 6.12 que o volume de água armazenado no reservatório começa a diminuir e em alguns trechos ao longo do tempo o reservatório chega a atingir o volume mínimo, comprometendo o atendimento destas demandas.

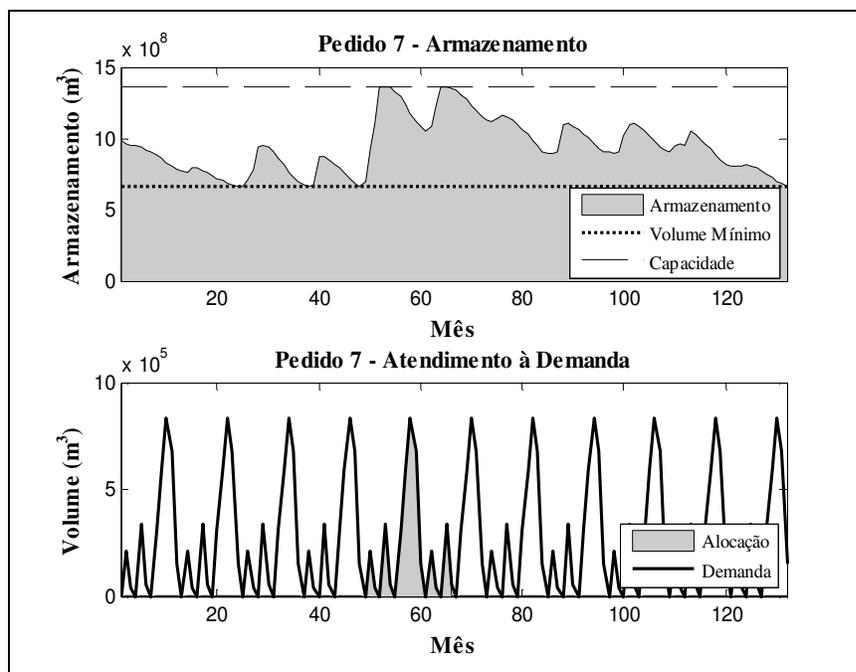
As demandas dos pedidos 5, 6, 7 e 8 foram atendidas com garantias de 21,48%, 10,91%, 12,12% e 12,88%, respectivamente. Pode-se observar através das Figuras 6.9 a 6.12 que houve falha na garantia de atendimento às demandas em torno de 80%.



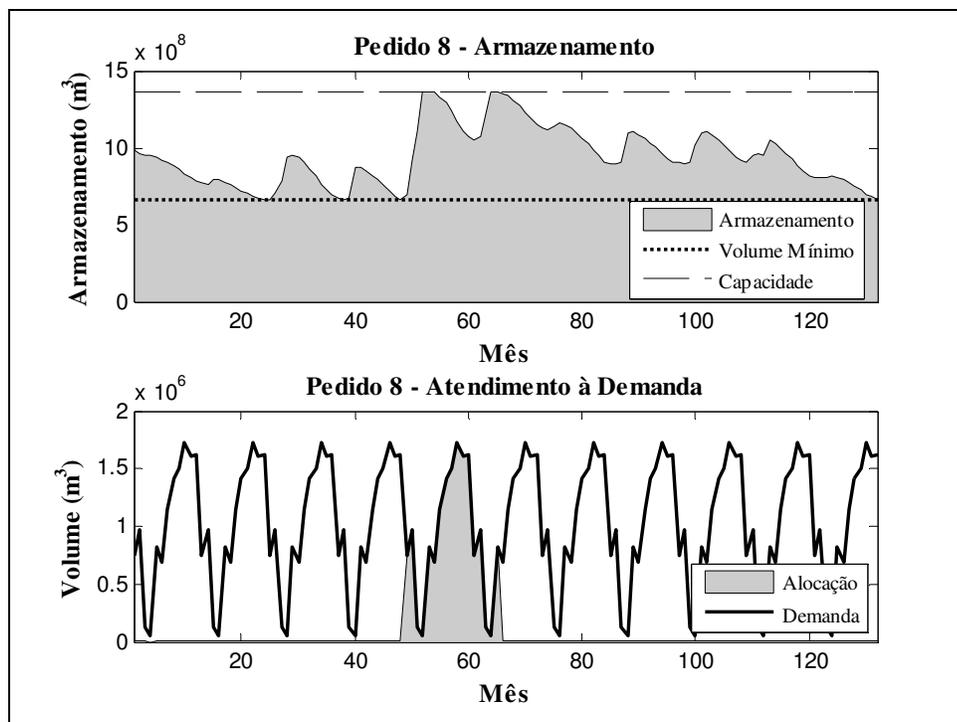
**Figura 6.9** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza o aspecto econômico.



**Figura 6.10** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza o aspecto econômico.



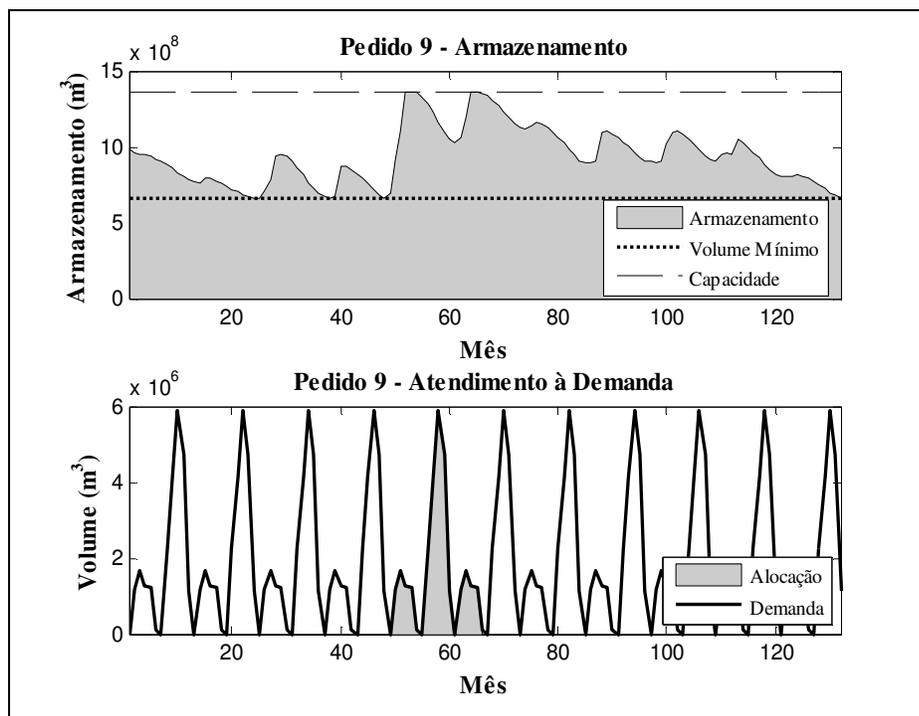
**Figura 6.11** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza o aspecto econômico.



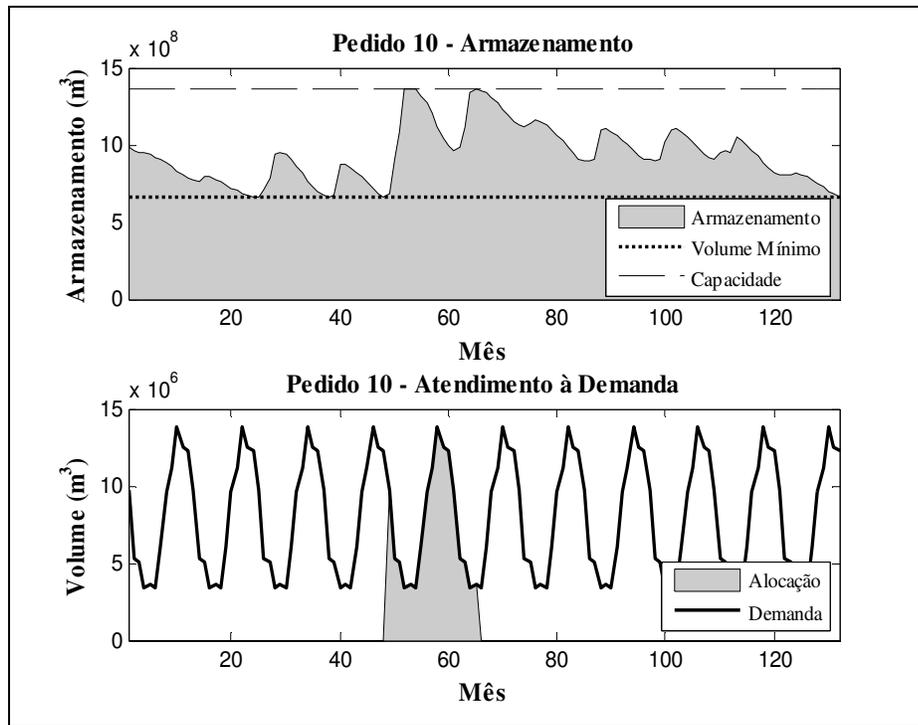
**Figura 6.12** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza o aspecto econômico.

Para os demais pedidos (9 a 11), referentes a demandas de irrigação difusa, a garantia de atendimento foi inferior a 13%. As Figuras 6.13 a 6.15 ilustram o comportamento do sistema ao longo dos meses mediante as retiradas de água para o atendimento desses pedidos, como também a garantia com que eles são atendidos.

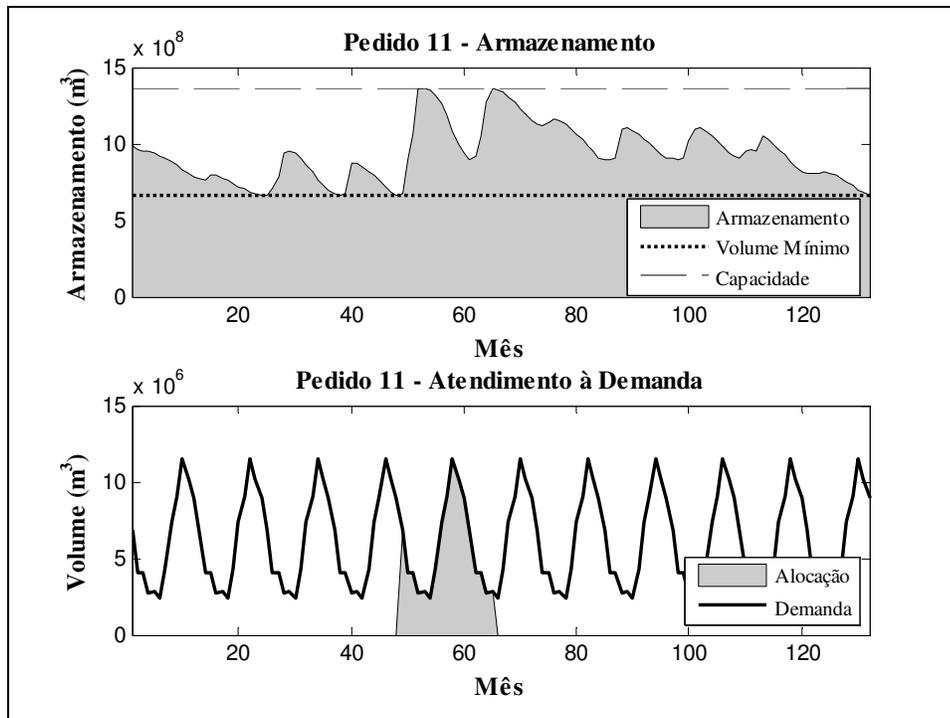
Pode-se notar que os últimos pedidos apresentaram falha na garantia de atendimento na ordem de 87%, mostrando que a reserva hídrica do sistema é insuficiente para suprir satisfatoriamente todos os pedidos de outorga.



**Figura 6.13** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza o aspecto econômico.



**Figura 6.14** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza o aspecto econômico.



**Figura 6.15** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza o aspecto econômico.

## 6.2.2 OUTORGA PRIORIZANDO O ASPECTO SOCIAL

Nesta análise levou-se em consideração a ordenação de usos da água quando o critério social foi colocado como prioritário sobre os demais critérios.

Os resultados obtidos com a ordem de prioridades para o atendimento as demandas serão mostrados a seguir.

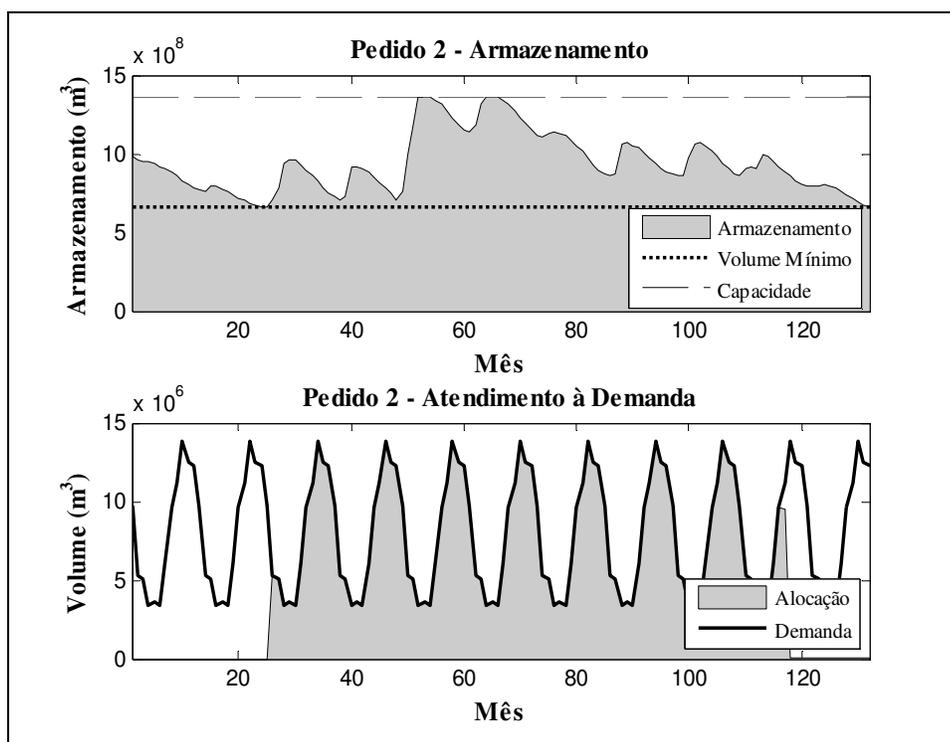
Na Tabela 6.3 estão apresentados os pedidos de outorga, a ordem em que são atendidos e as garantias médias de fornecimento da vazão referente a cada demanda pelo sistema Curema-Mãe D'Água.

**Tabela 6.3** – Demandas médias e garantias de atendimento dos reservatórios quando se prioriza o aspecto social

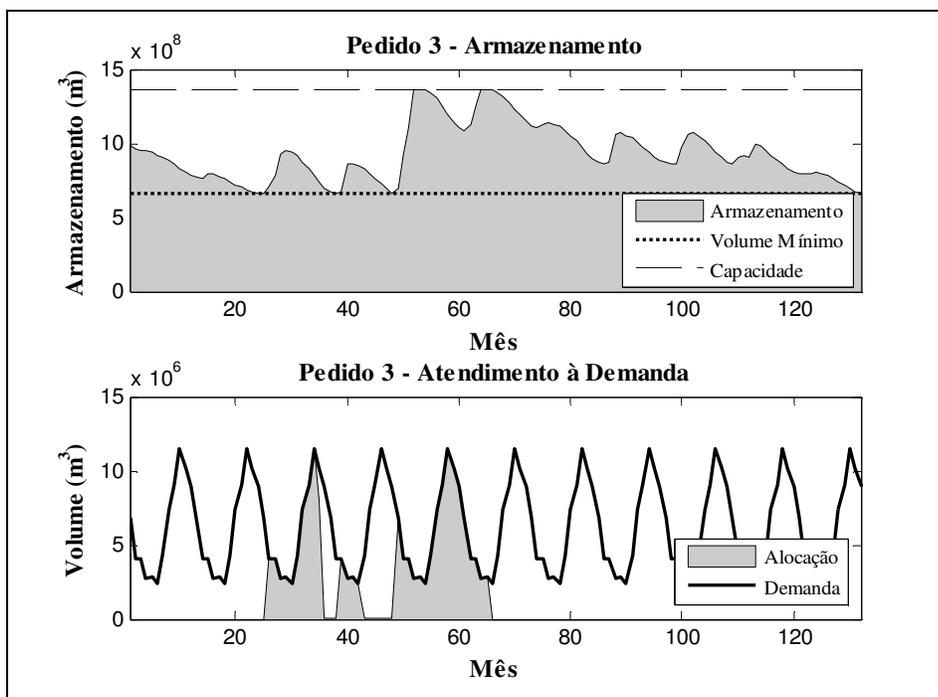
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Curema-Mãe D'Água	1	Abastecimento	2,628	96,21
	2	Irrig. difusa de culturas perenes	3,032	68,94
	3	Irrig. difusa de culturas perenes e sazonais	2,347	22,73
	4	Irrig. difusa de culturas sazonais	0,749	12,73
	5	Irrig. de culturas perenes das Várzeas de Sousa	2,847	12,39
	6	Irrig. de culturas perenes e sazonais das Várzeas de Sousa	2,227	12,39
	7	Piscicultura Intensiva	0,058	12,88
	8	Irrig. de culturas perenes de Piancó I	0,394	12,88
	9	Irrig. de culturas sazonais de Piancó I	0,102	12,12
	10	Irrig. de culturas sazonais das Várzeas de Sousa	0,687	10,91
	11	Irrig. de culturas perenes e sazonais de Piancó I	0,305	12,39

Dos pedidos 2 ao 4, a ordem estabelecida foi para o atendimento da demanda de irrigação difusa. Essa demanda teve prioridade sobre as demais, nesta análise, porque a irrigação difusa gera mais emprego do que a irrigação em perímetros e a piscicultura, isso pode ser visualizado através da Tabela 5.11 (Capítulo 5).

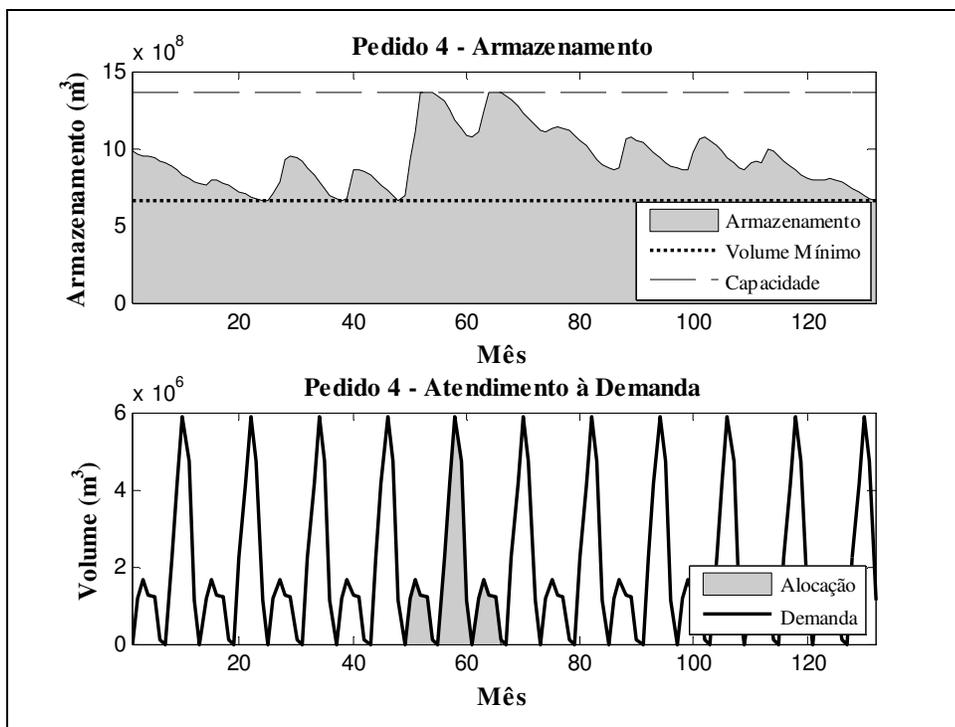
As Figuras 6.16 a 6.18 mostram como o sistema se comportou ao longo do tempo com a retirada da demanda para a irrigação difusa e as garantias de atendimento.



**Figura 6.16** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza o aspecto social.



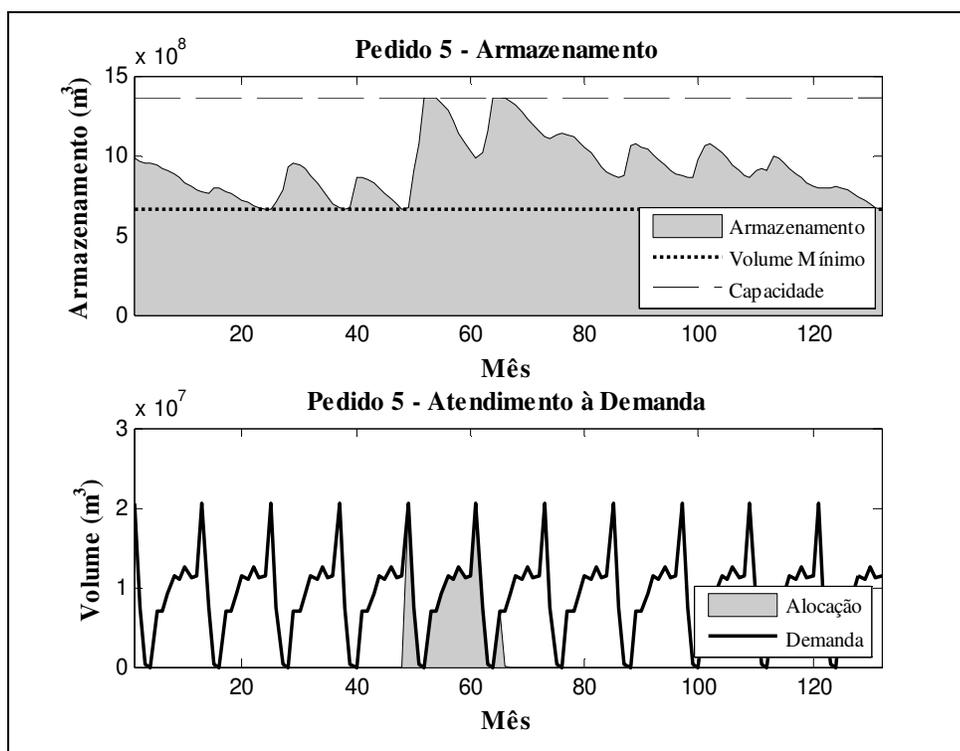
**Figura 6.17** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza o aspecto social.



**Figura 6.18** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza o aspecto social.

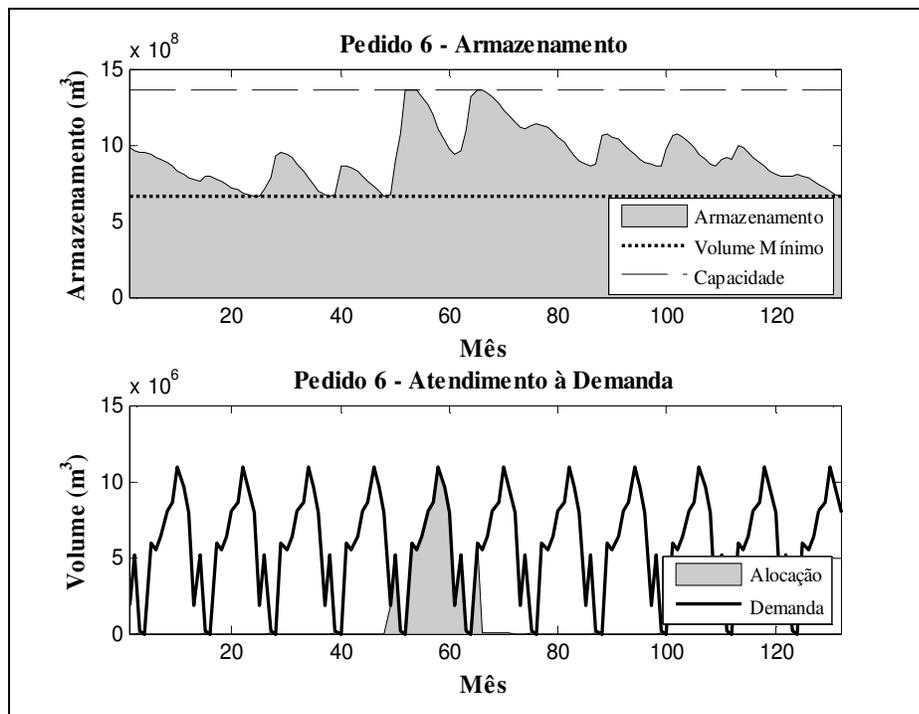
Observa-se que, devido ao rebaixamento do nível de água nos primeiros meses do período analisado, as garantias de atendimento aos pedidos 2, 3 e 4 são de 68,94%, 22,73% e 12,73%, respectivamente.

O pedido 5, referente a irrigação de culturas perenes no perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, também não apresenta uma garantia de atendimento satisfatória. Através da Figura 6.19 percebe-se que o sistema garante atendimento em poucos meses, cerca de 12,39% do tempo, bem abaixo da garantia considerada suficiente.

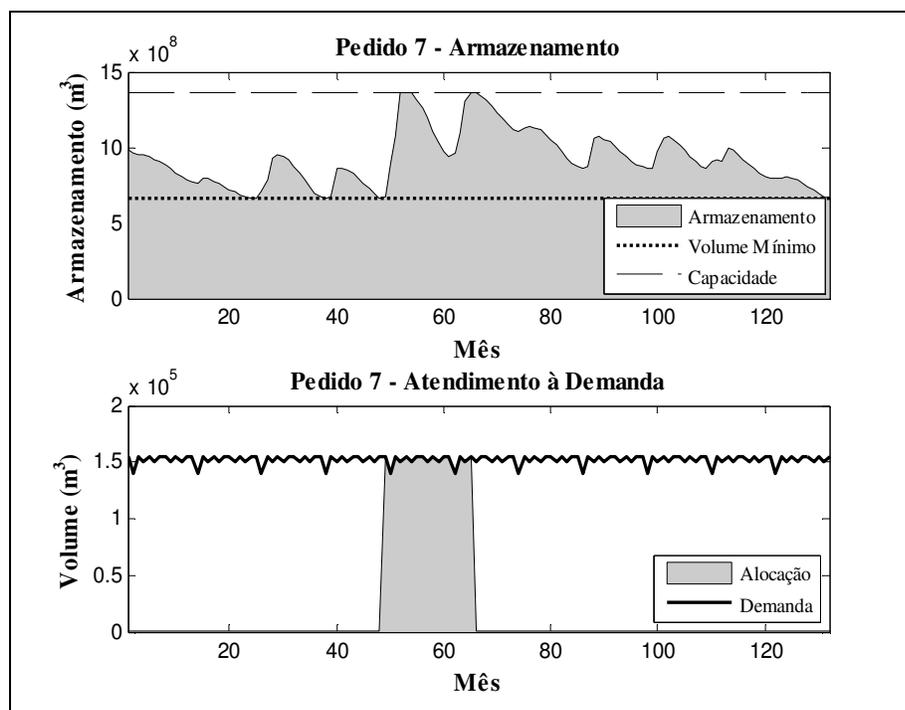


**Figura 6.19** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza o aspecto social.

Os pedidos 6 e 7 a serem analisados são relativos às demandas de irrigação de culturas perenes e sazonais no perímetro das Várzeas de Sousa e piscicultura intensiva, respectivamente. De acordo com as Figuras 6.20 e 6.21, o volume de água do sistema praticamente não sofre alterações. No entanto, o reservatório só consegue atender esses pedidos em 12,39% e 12,88% do tempo analisado.

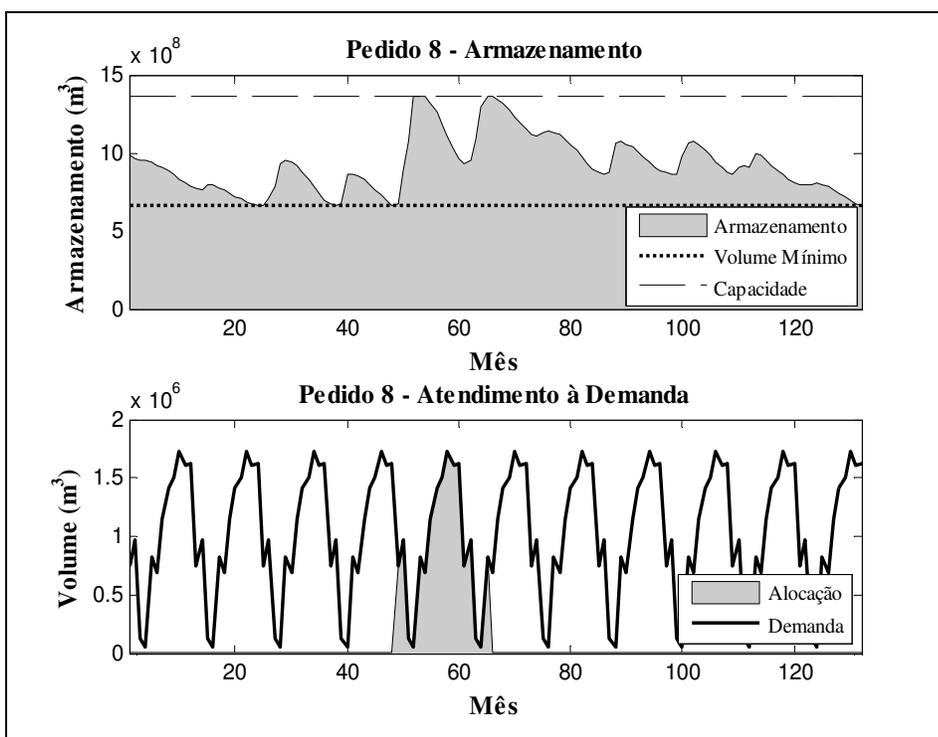


**Figura 6.20** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza o aspecto social.

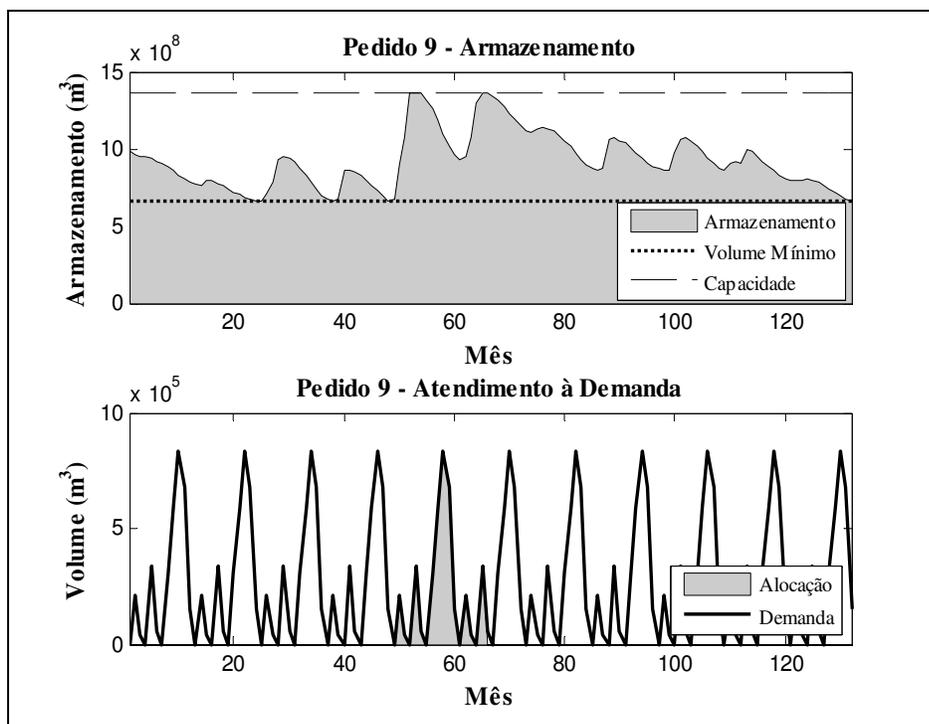


**Figura 6.21** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza o aspecto social.

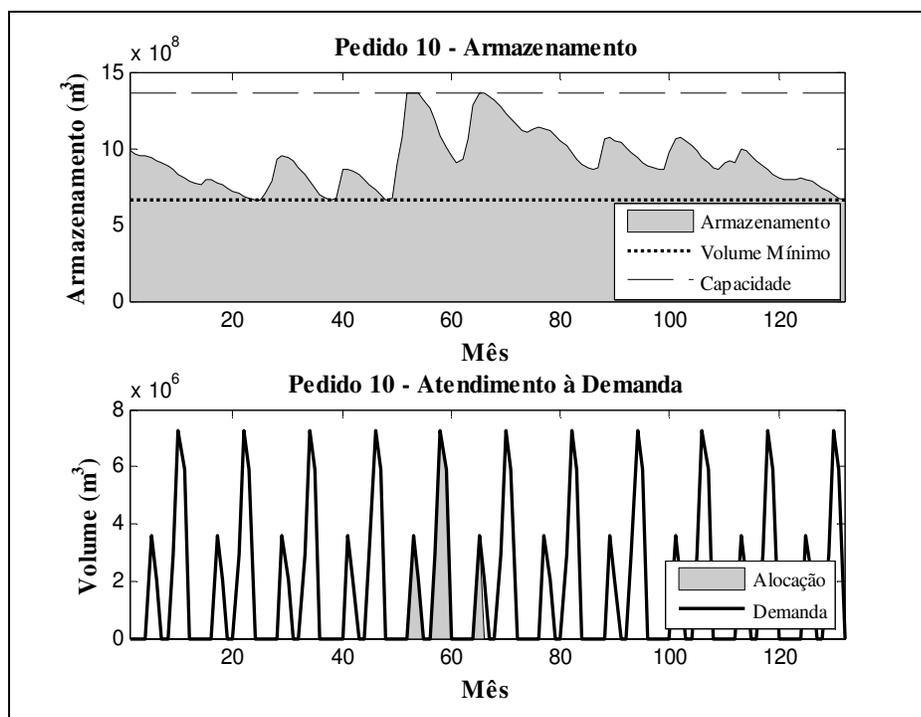
Para as demais demandas, referentes à irrigação em perímetros (Figuras 6.22, 6.23, 6.24 e 6.25), percebe-se que o volume do reservatório permanece praticamente inalterado, pois o sistema precisa garantir atendimento às demandas anteriores, impedindo a retirada de água para o atendimento a novos pedidos na maior parte do tempo. Portanto, o reservatório só atendeu as demandas dos pedidos 8 a 11 com garantias de 12,88%, 12,12%, 10,91% e 12,39%, respectivamente. Percebe-se, desta forma, que as falhas no atendimento a essas demandas foram, em média, de aproximadamente 87,9% inviabilizando a atividade prevista na outorga.



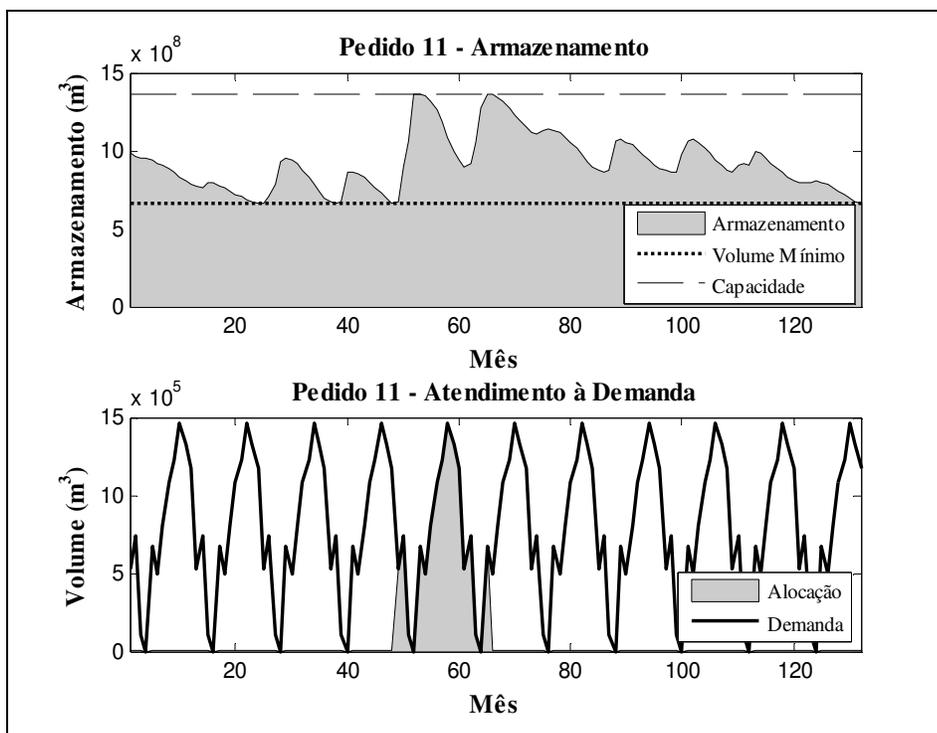
**Figura 6.22** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza o aspecto social.



**Figura 6.23** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza o aspecto social.



**Figura 6.24** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza o aspecto social.



**Figura 6.25** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza o aspecto social.

### 6.2.3 OUTORGA PRIORIZANDO O ASPECTO AMBIENTAL

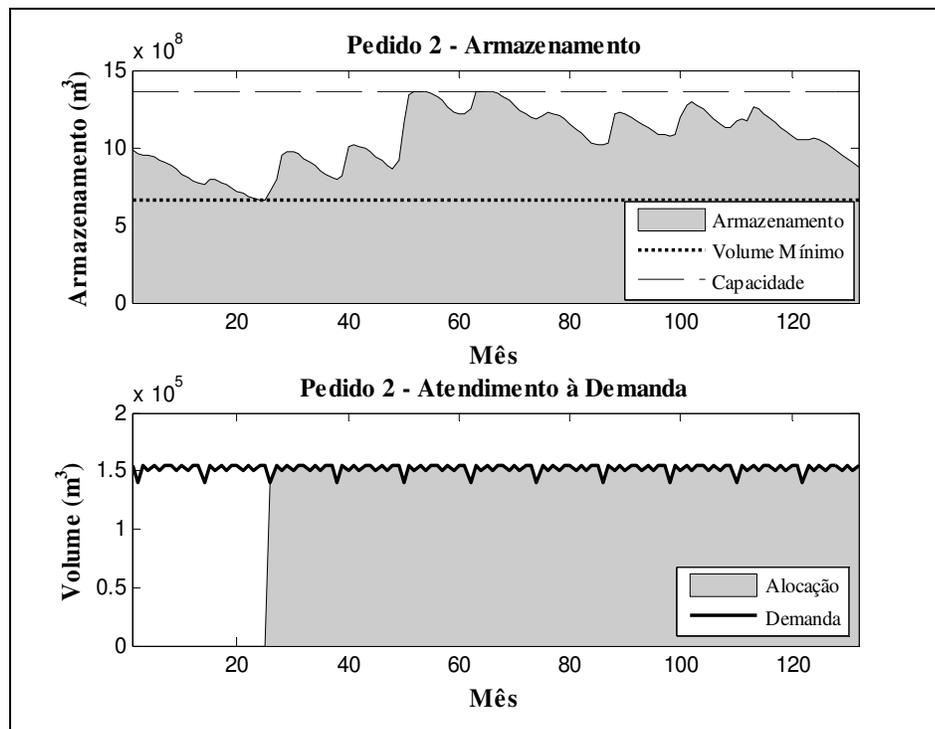
Nesta análise levou-se em consideração apenas o aspecto ambiental. O estabelecimento da ordem de prioridades das demandas foi realizado através da análise multicriterial quando se considerou peso de 100% para este aspecto e peso nulo para os demais.

A Tabela 6.4, a seguir, mostra a ordem dos pedidos, a finalidade de cada um, a demanda média necessária e a garantia de atendimento para cada pedido.

**Tabela 6.4** – Demandas médias e garantias de atendimento dos reservatórios quando se prioriza o aspecto ambiental

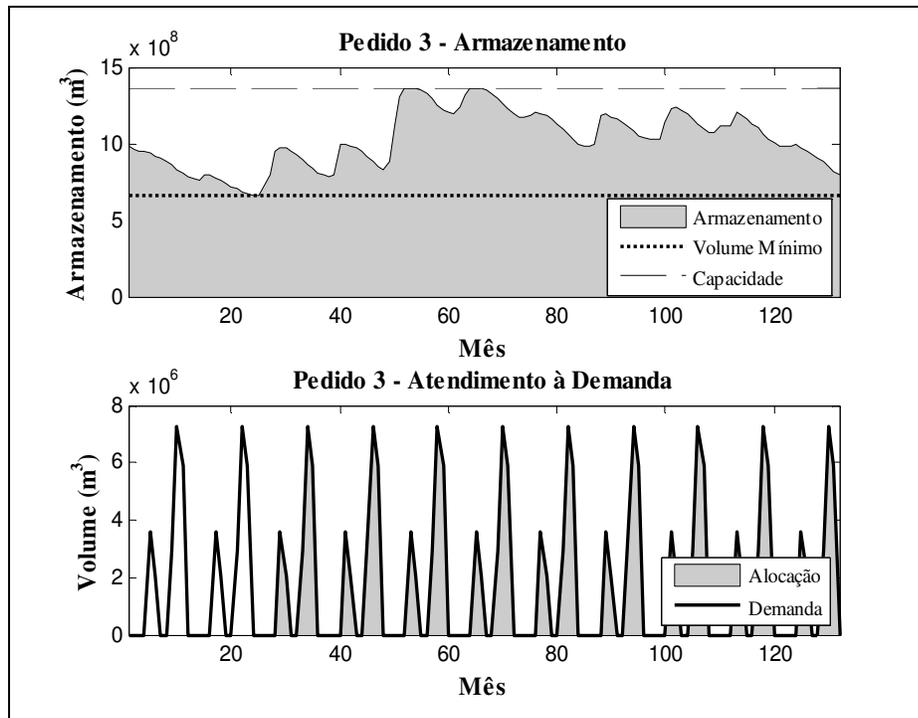
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Curema-Mãe D'Água	1	Abastecimento	2,628	96,21
	2	Piscicultura Intensiva	0,058	81,06
	3	Irrig. de culturas sazonais das Várzeas de Sousa	0,687	81,82
	4	Irrig. de culturas sazonais de Piancó I	0,102	81,82
	5	Irrig. de culturas perenes e sazonais de Piancó I	0,305	80,99
	6	Irrig. de culturas perenes e sazonais das Várzeas de Sousa	2,227	52,89
	7	Irrig. de culturas perenes de Piancó I	0,394	30,30
	8	Irrig. de culturas perenes das Várzeas de Sousa	2,847	14,05
	9	Irrig. difusa de culturas sazonais	0,749	10,60
	10	Irrig. difusa de culturas perenes e sazonais	2,347	12,88
	11	Irrig. difusa de culturas perenes	3,032	12,88

A Figura 6.26 mostra como se comporta o reservatório mediante a retirada de água para o atendimento da demanda de piscicultura. De acordo com a figura, a atendimento do pedido 2, causa pouca modificação no volume armazenado do reservatório, que é caracterizado por ter em alguns meses atingido sua capacidade volumétrica. No entanto, esse pedido só é atendido com garantia de 81,06%.

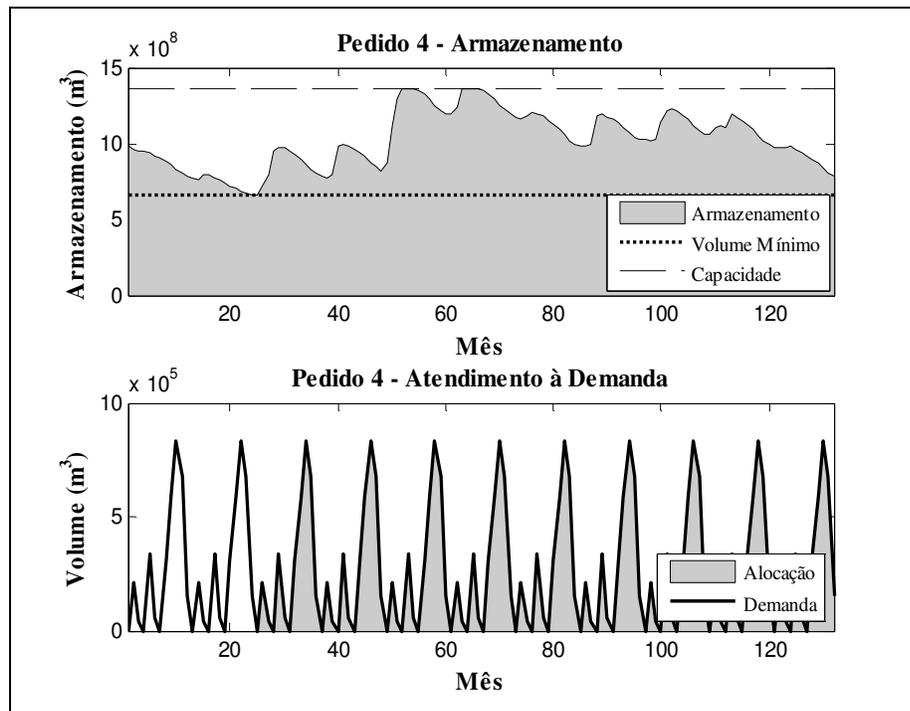


**Figura 6.26** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza o aspecto ambiental.

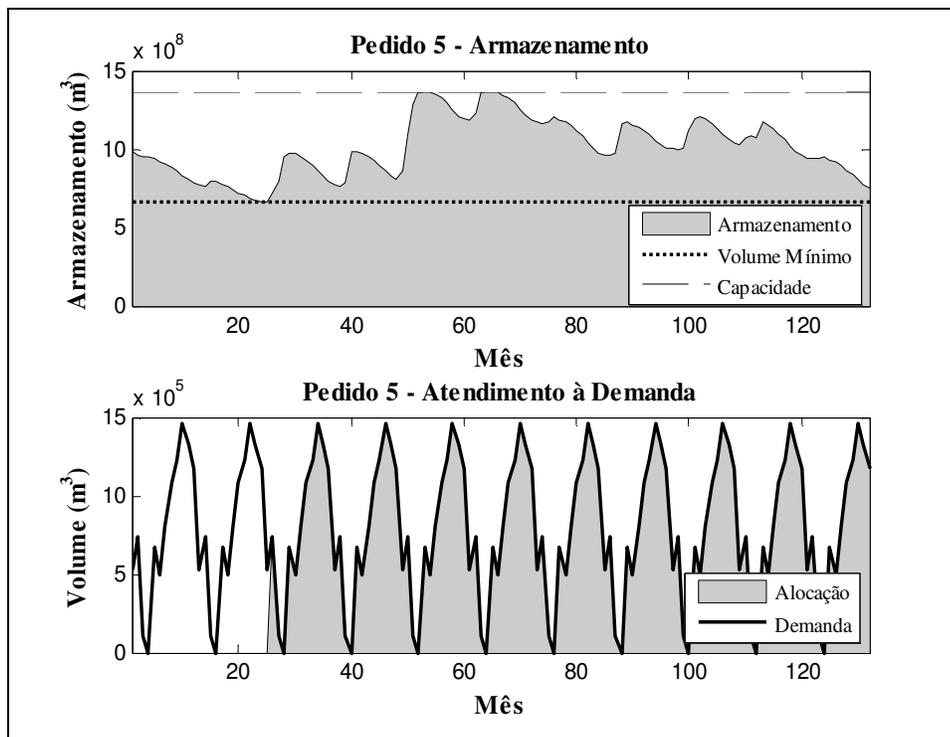
Dos pedidos 3 a 5, pode-se observar através das Figuras 6.27 a 6.29 que a reserva hídrica do reservatório começa a diminuir devido ao atendimento das demandas anteriores. No entanto, esses pedidos foram atendidos com garantia superior a 80%.



**Figura 6.27** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza o aspecto ambiental.

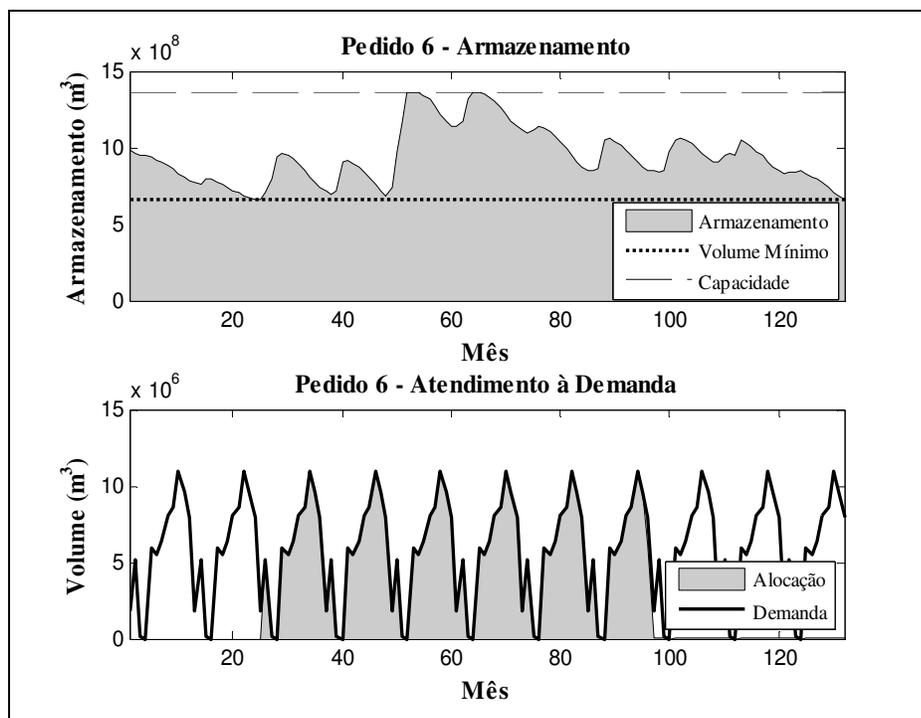


**Figura 6.28** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza o aspecto ambiental.

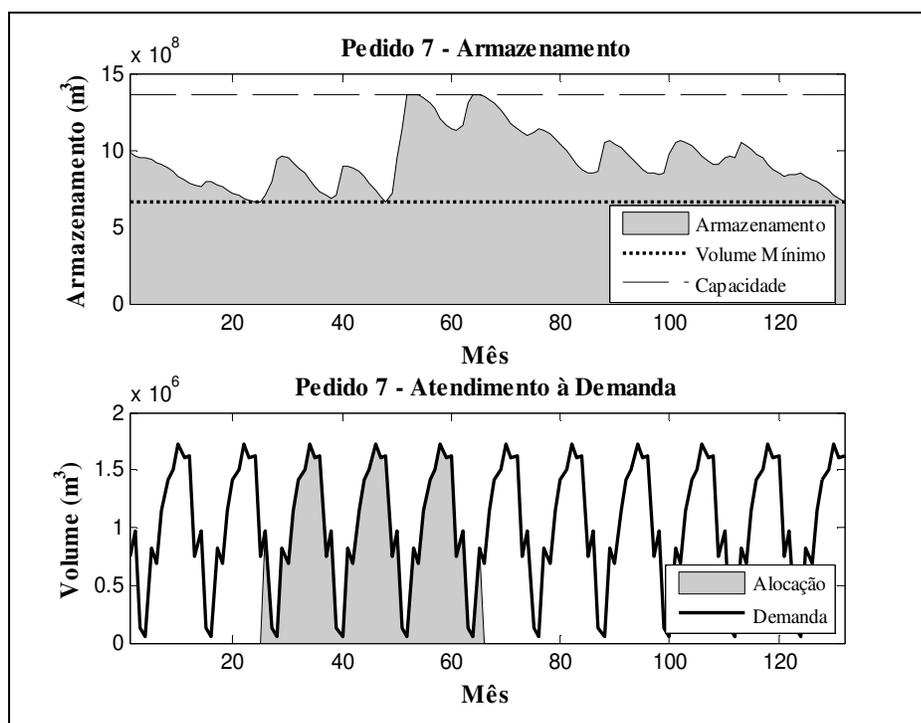


**Figura 6.29** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza o aspecto ambiental.

O atendimento dos pedidos 6 e 7, referentes a irrigação nos perímetros das Várzeas de Sousa e Piancó I, pode ser visualizado através das Figuras 6.30 e 6.31, respectivamente. Nota-se, através da Figura 6.30, que, como a demanda do pedido 6 é grande, o armazenamento de água no reservatório atinge alguns meses o volume mínimo, garantindo apenas 52,89% de atendimento a essa demanda. Quanto ao atendimento do pedido 7 (Figura 6.31), pode-se notar que devido ao rebaixamento do nível de água nos primeiros meses do período analisado, o atendimento a este pedido só é garantido em apenas 30,30% do tempo.

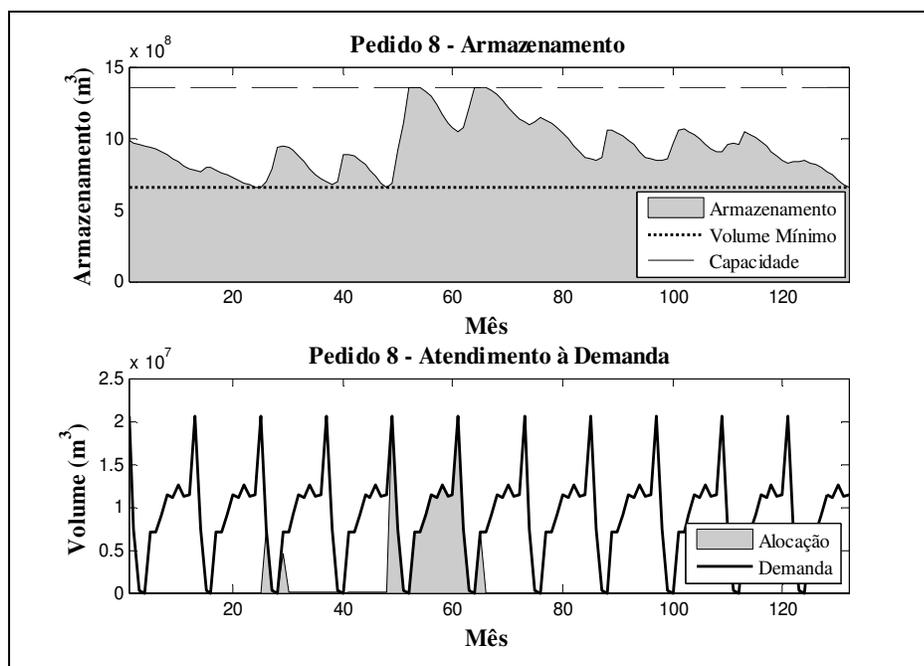


**Figura 6.30** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza o aspecto ambiental.

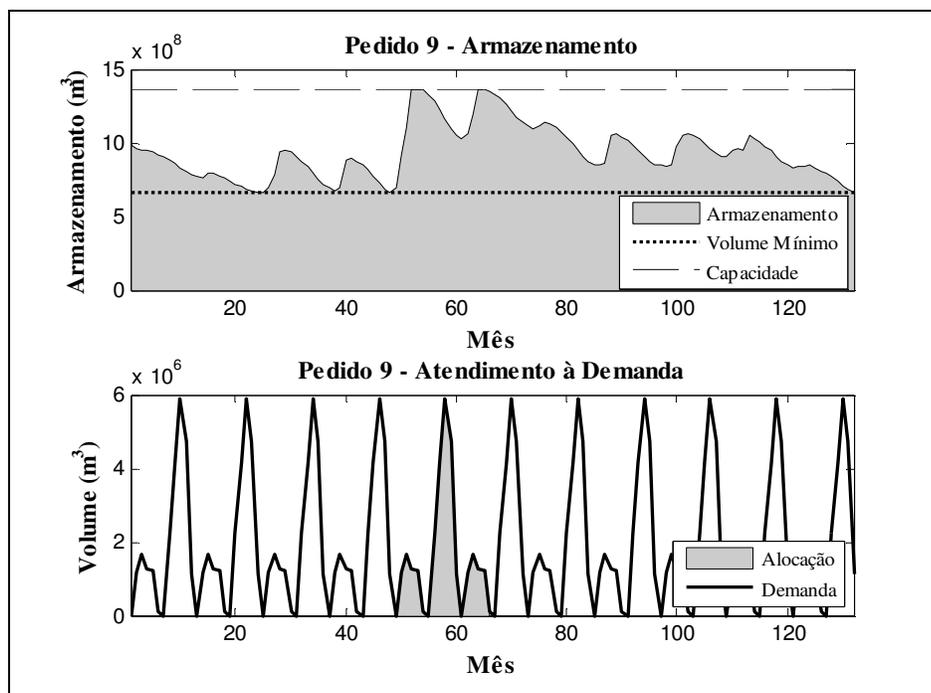


**Figura 6.31** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza o aspecto ambiental.

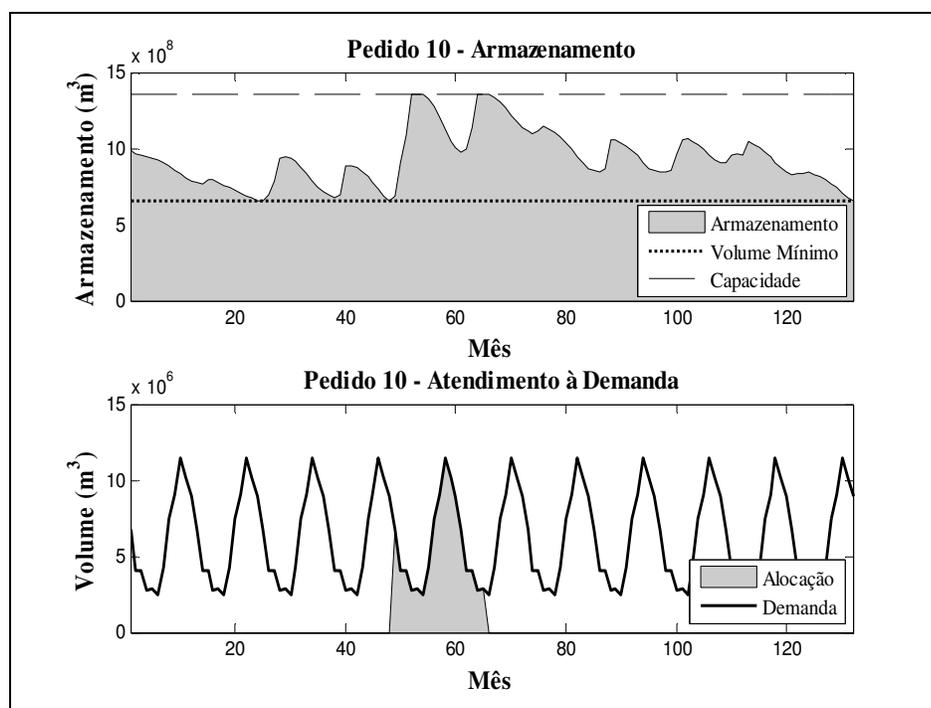
Para os demais pedidos (8 a 11), as garantias de atendimento foram inferior a 15%. Estes resultados estão bem abaixo do esperado, mostrando que o sistema formado pelos reservatórios Curema e Mãe D'Água deixam de atender satisfatoriamente a maioria das demandas a que estão destinados. As Figuras 6.32 a 6.35 apresentam mais detalhes sobre o comportamento do volume de água armazenado no sistema à medida que as demandas vão sendo atendidas.



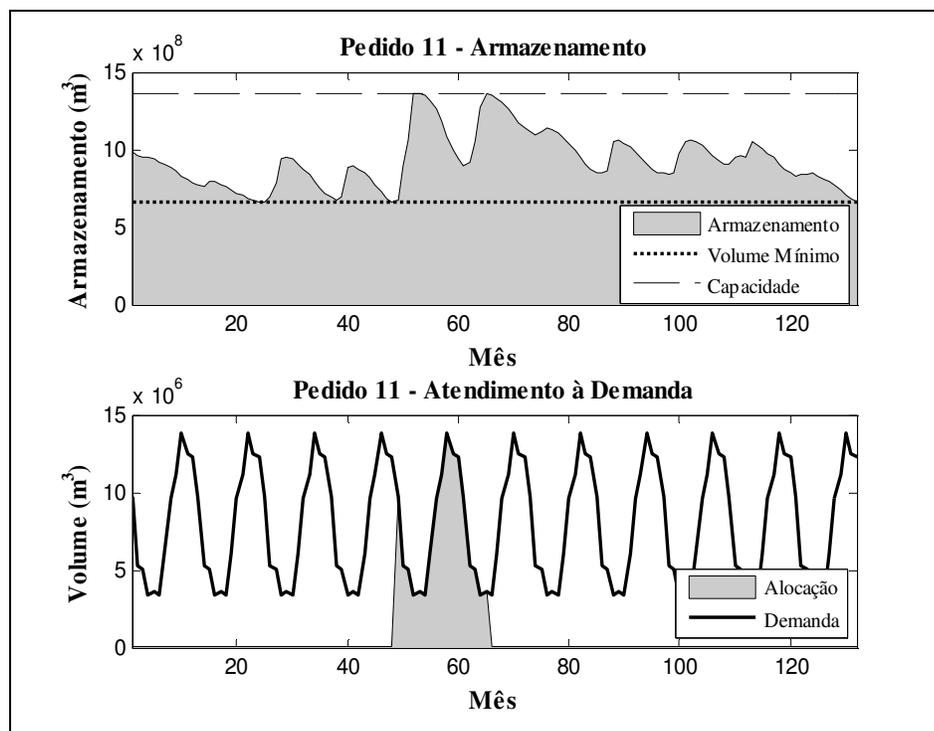
**Figura 6.32** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza o aspecto ambiental.



**Figura 6.33** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza o aspecto ambiental.



**Figura 6.34** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza o aspecto ambiental.



**Figura 6.35** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza o aspecto ambiental.

#### 6.2.4 OUTORGA COM PESOS EQUILIBRADOS PARA OS CRITÉRIOS

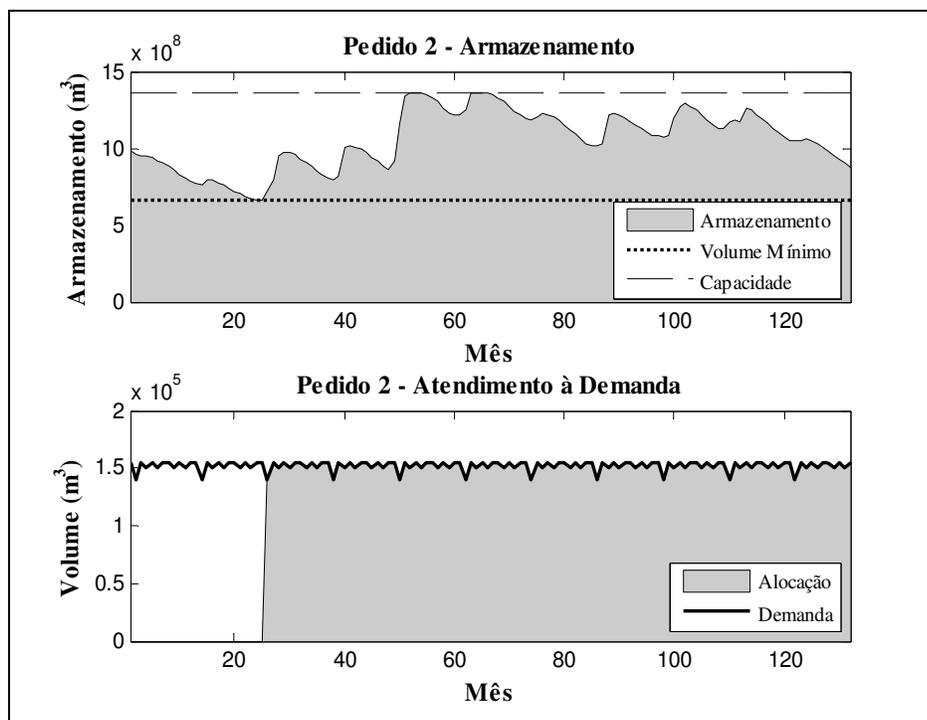
Esta análise foi realizada através da atribuição de pesos equilibrados para os critérios. Foi considerado um peso de 30% para o critério econômico, 30% para o social e 40% para o ambiental.

A Tabela 6.5, a seguir, apresenta a ordem de preferências dos pedidos, as demandas médias de cada um e a garantia média de atendimento. Os resultados mostrados nesta tabela indicam que, dos onze pedidos de outorga, apenas a demanda destinada a abastecimento foi atendida com garantia superior a 90%.

**Tabela 6.5** – Demandas médias e garantia de atendimento dos reservatórios quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios

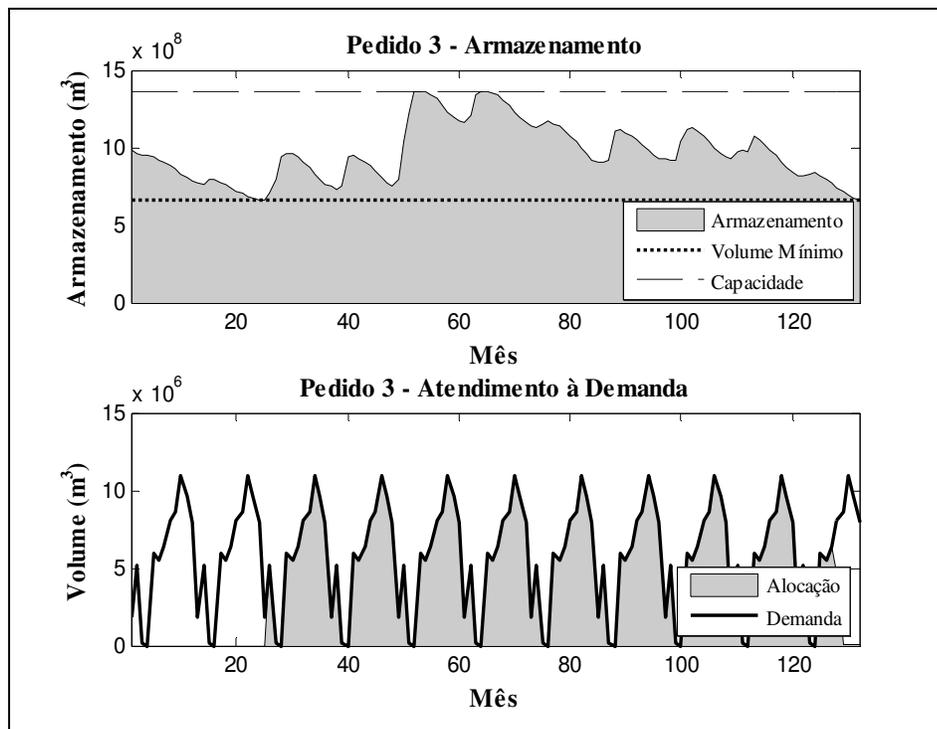
Reservatórios	Dados de outorga		Demandas Médias (m <sup>3</sup> /s)	Garantia de Atendimento (%)
	Nº pedido	Finalidade		
Curema-Mãe D'Água	1	Abastecimento	2,628	96,21
	2	Piscicultura Intensiva	0,058	81,06
	3	Irrig. de culturas perenes e sazonais das Várzeas de Sousa	2,227	76,86
	4	Irrig. de culturas perenes e sazonais de Piancó I	0,305	29,75
	5	Irrig. de culturas sazonais das Várzeas de Sousa	0,387	29,09
	6	Irrig. de culturas perenes das Várzeas de Sousa	2,847	17,58
	7	Irrig. de culturas sazonais de Piancó I	0,102	12,12
	8	Irrig. de culturas perenes de Piancó I	0,394	12,87
	9	Irrig. difusa de culturas sazonais	0,749	12,73
	10	Irrig. difusa de culturas perenes e sazonais	2,347	12,88
	11	Irrig. difusa de culturas perenes	3,032	12,88

Poucas mudanças de volume são observadas quando do atendimento do pedido 1 (abastecimento) ao pedido 2 (piscicultura intensiva), como apresentado na Figura 6.36. Pode-se observar que, devido ao rebaixamento do volume de água no início do período analisado, o atendimento à demanda de piscicultura intensiva só é garantido em apenas 81,06% do tempo.



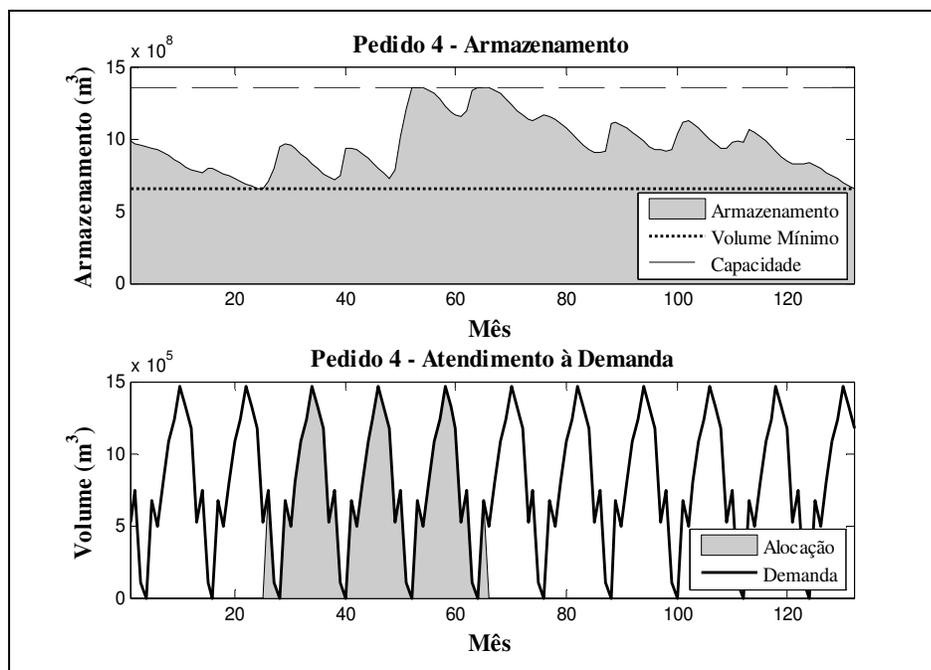
**Figura 6.36** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 2 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.

A outorga destinada a irrigação de culturas perenes e sazonais (pedido 3) requer uma vazão média de 2,227 m<sup>3</sup>/s. Por se tratar de uma demanda alta, pode-se notar, através da Figura 6.37, que o reservatório depleciona, chegando inclusive, em alguns meses do período analisado, atingir o volume mínimo. Desta forma, este pedido só foi atendido com apenas 76,86% de garantia.

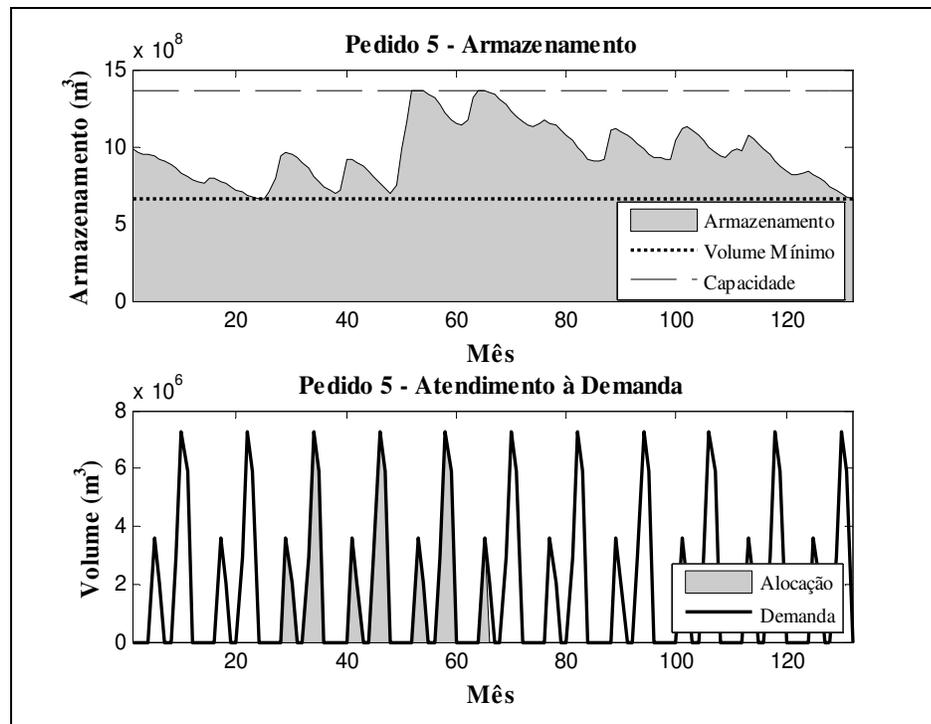


**Figura 6.37** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 3 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.

Apesar dos pedidos 4 e 5 necessitarem de uma demanda menor de água, cerca de  $0,305 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,387 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente, o reservatório só consegue atender esses pedidos com 29% de garantia. Isso acontece devido ao comprometimento da reserva hídrica para o atendimento das demandas anteriores. As variações no armazenamento de água no reservatório e o atendimento às demandas ao longo do tempo podem ser visualizados através das Figuras 6.38 e 6.39.

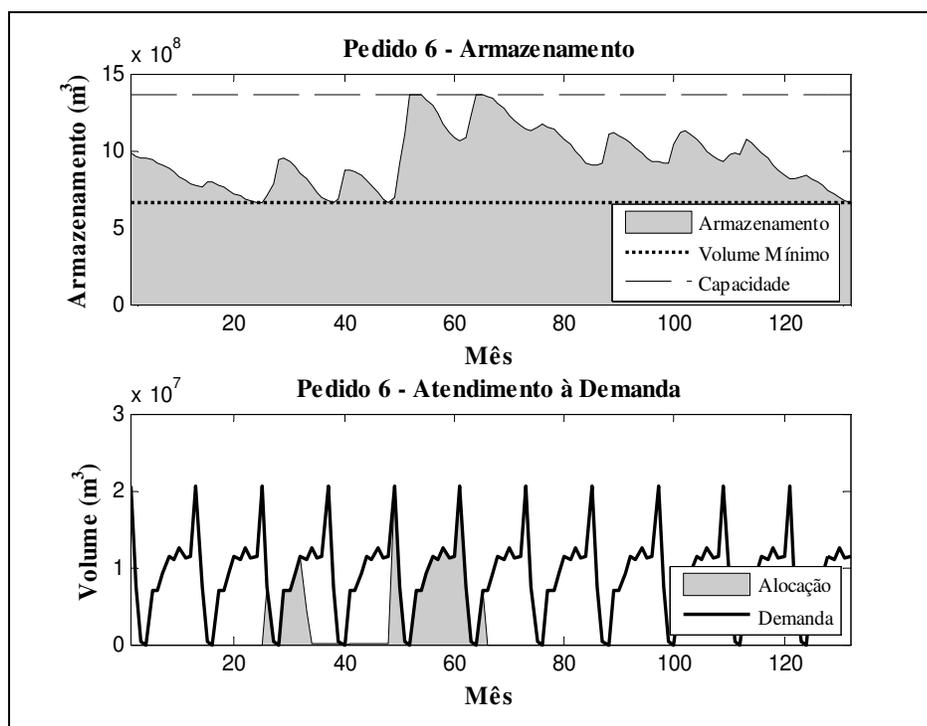


**Figura 6.38** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 4 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.



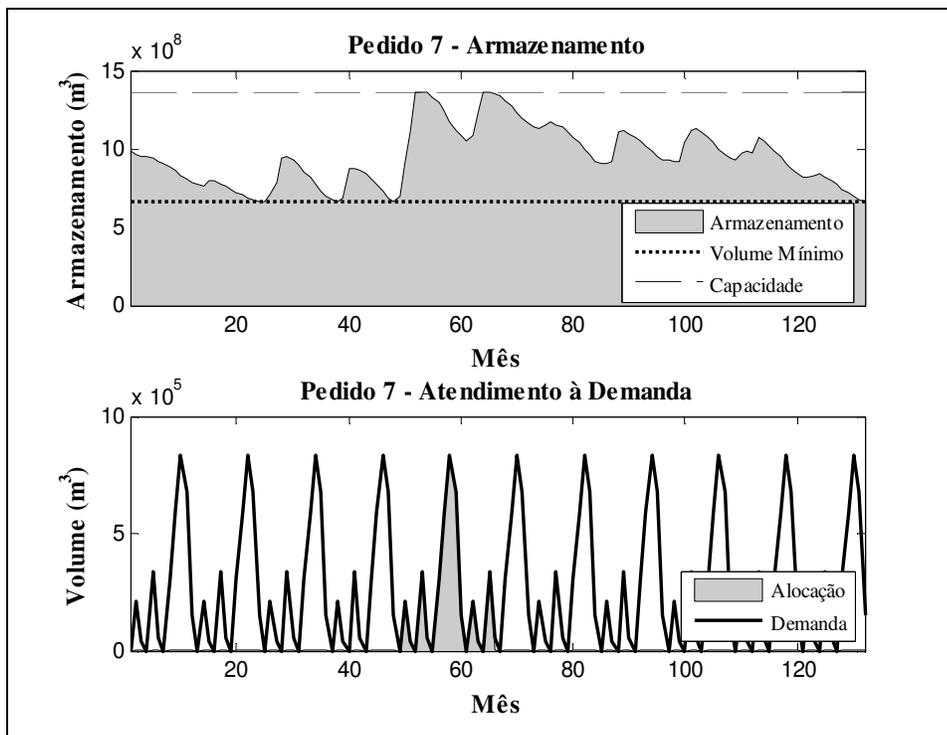
**Figura 6.39** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 5 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.

A Figura 6.40 apresenta o gráfico referente ao comportamento do reservatório e ao atendimento a demanda de irrigação de culturas perenes do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa (pedido 6). Pode-se observar, através da Tabela 6.5, que este pedido necessita de uma vazão média de 2,847 m<sup>3</sup>/s. Por se tratar de uma demanda elevada e do baixo nível de água armazenada no reservatório, este pedido só foi atendido em 17,35% do tempo. Através do gráfico de armazenamento (Figura 6.40) pode-se verificar que as falhas ocorridas (82,65%) são ocasionadas no período em que o reservatório atinge o volume mínimo.

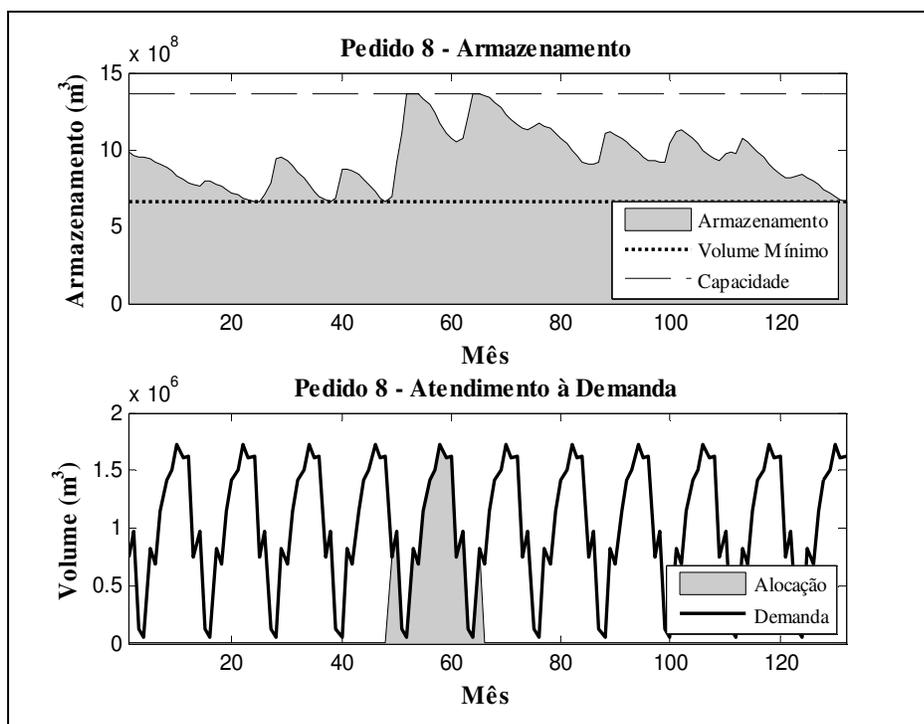


**Figura 6.40** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 6 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.

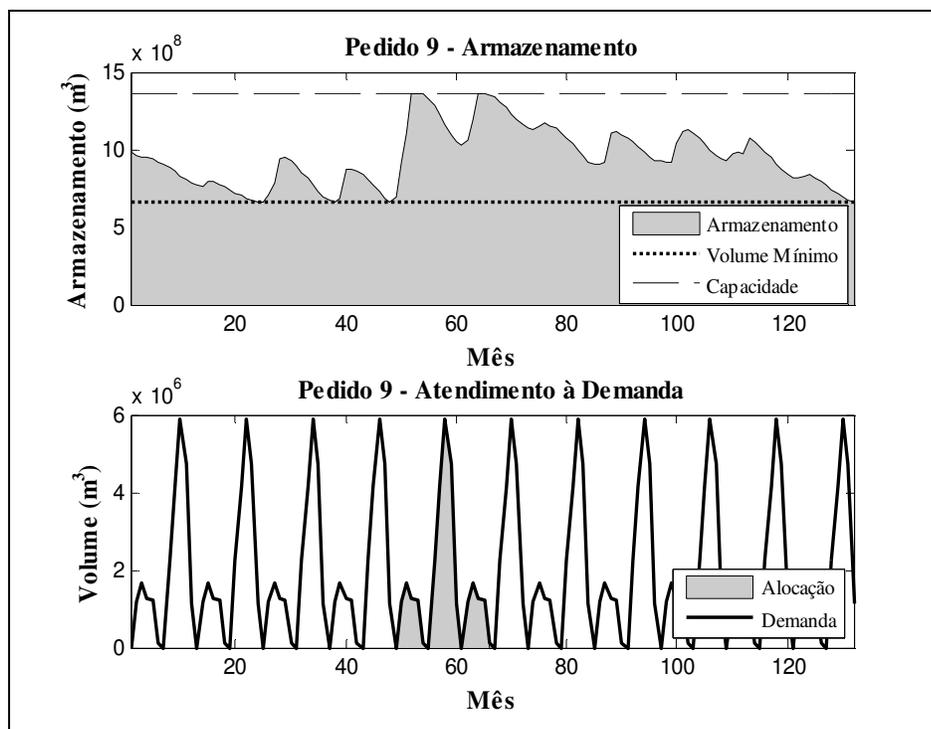
Para os demais pedidos (7 a 11), a garantia de atendimento foi inferior a 15%. De acordo com as Figuras 6.41 a 6.45, pode-se verificar que a variação no volume do reservatório é pequena. Praticamente não foi alocada água para o atendimento destes pedidos. Devido ao comprometimento no atendimento das demandas anteriores, o sistema não conseguiu garantir satisfatoriamente a estas demandas, gerando falhas de atendimento de aproximadamente 87%.



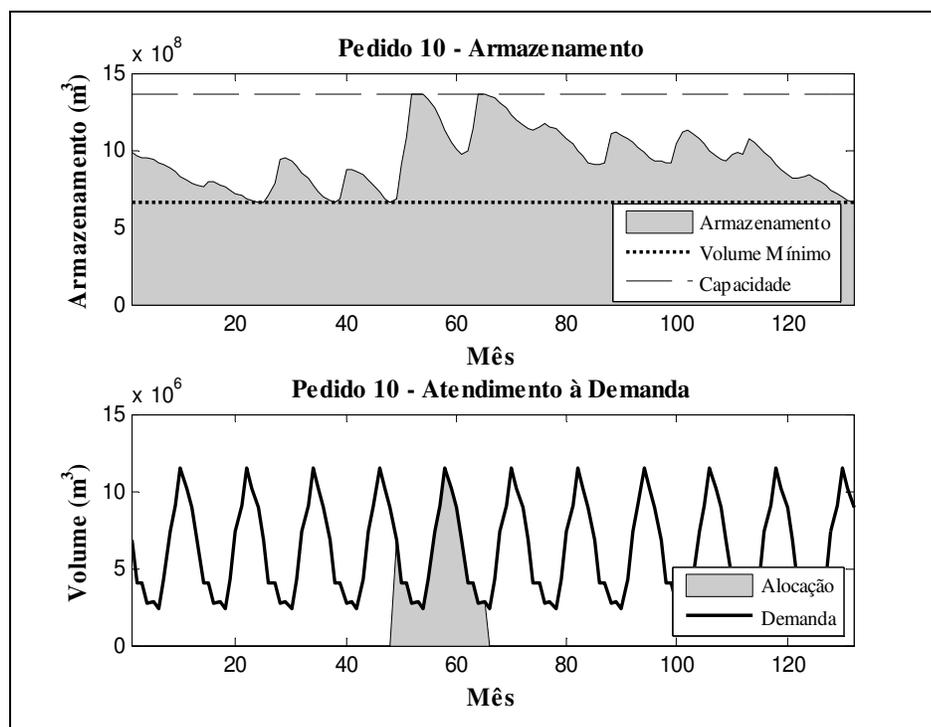
**Figura 6.41** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 7 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.



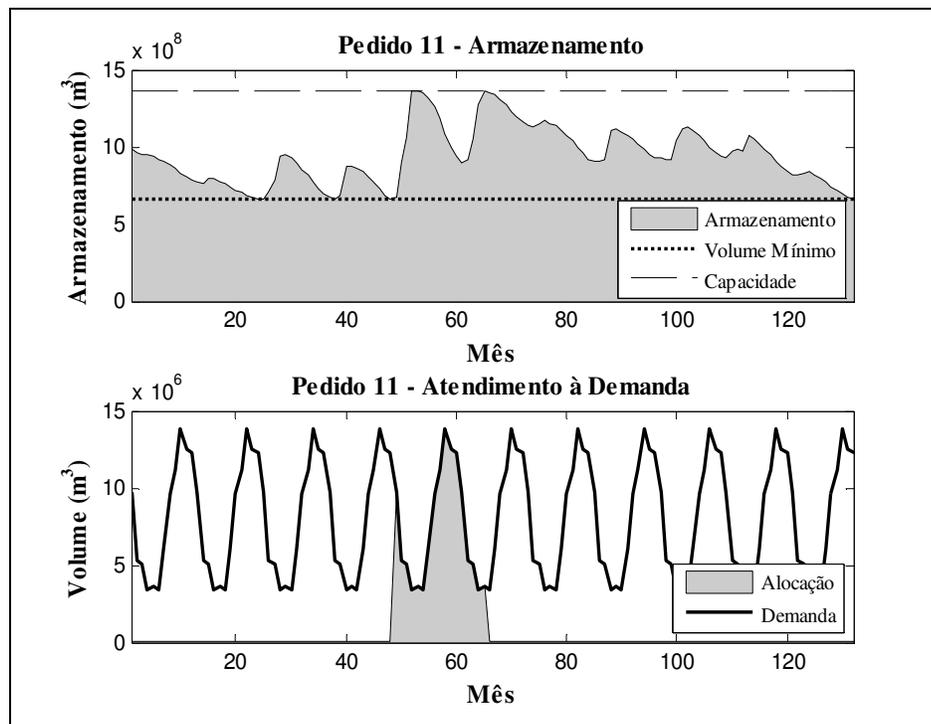
**Figura 6.42** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 8 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.



**Figura 6.43** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 9 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.



**Figura 6.44** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D’Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 10 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.



**Figura 6.45** – Comportamento do Reservatório Curema-Mãe D'Água ao longo do tempo para atendimento da demanda do pedido 11 quando se prioriza pesos equilibrados para os critérios.

## CAPÍTULO 7

### 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 7.1 CONCLUSÕES

Este estudo teve como principal objetivo analisar como o procedimento de outorga pode ser afetado pelo uso de métodos multicriteriais. Para tanto, utilizou-se, como estudo de caso, o sistema Curema-Mãe D'Água. Diante dos resultados obtidos algumas conclusões puderam ser extraídas. Essas conclusões serão apresentadas a seguir.

- Com relação à Análise Multicriterial

1. As alternativas utilizadas para a realização da análise multicriterial foram irrigação (perímetro e difusa) e piscicultura (intensiva e extensiva) por serem consideradas de grande relevância na bacia estudada.

2. Foram utilizados os critérios econômico, social e ambiental com os seguintes atributos: lucratividade, prejuízo potencial, geração de emprego, confiabilidade de atendimento no abastecimento humano, prejuízos da fauna e da flora, consumo hídrico e impacto na qualidade de água do reservatório para a formação da matriz de avaliação.

3. A análise multicriterial aonde foi priorizado o critério econômico selecionou as alternativas 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais) e 6 (irrigação no perímetro das Várzeas de Sousa de culturas perenes e sazonais) como as alternativas mais preferidas pelo decisor, uma vez que elas geram uma maior lucratividade e minimizam os prejuízos potenciais.

4. Ao se priorizar o critério social, as melhores alternativas foram a 7 (irrigação difusa de culturas perenes) e a 9 (irrigação difusa de culturas perenes e sazonais) essa escolha pode ser explicada pelo fato deste tipo de irrigação gerar muito emprego.

5. Quando a maior importância for concedida ao critério ambiental as alternativas mais preferíveis pelo decisor foram a 11 (piscicultura extensiva) e a 10 (piscicultura intensiva) por apresentarem impactos ambientais menores que a irrigação.

6. Ao se atribuir pesos equivalentes entre os critérios (econômico, social e ambiental) as alternativas que lideraram no ranking foram a 10 (piscicultura intensiva) e a 3 (irrigação no perímetro de Piancó I de culturas perenes e sazonais)

7. De maneira geral, o procedimento para concessão de outorga é influenciado quando do uso da análise multicriterial, uma vez que, a variação nos pesos atribuídos aos fatores econômicos, sociais e ambientais, quando levados em consideração, alteram a ordem e o percentual de garantia de atendimento dos usos a serem outorgados.

8. A incorporação da análise multicriterial num processo de outorga deve ser considerada como sendo de grande relevância, pois ela possibilita que haja uma melhor alocação dos recursos hídricos e uma maior satisfação dos usuários.

- Com relação à Outorga de uso da água

De acordo com a ordem de prioridades que as alternativas ocuparam, segundo as análises multicriteriais, foram obtidas as seguintes conclusões:

1. Apenas a alternativa 1, destinada ao atendimento da demanda de abastecimento em todos os cenários de outorga estudados, obteve garantia satisfatória (96,21%) superior aos 90% exigidos pelo Decreto nº 19.260/97, que regulamenta a outorga de uso da água no Estado da Paraíba.

2. Quando a outorga priorizou o critério econômico as demandas que apresentaram a maior garantia de atendimento foram a irrigação de culturas perenes e sazonais do perímetro de Piancó I (80,99%) e a irrigação de culturas perenes e sazonais das Várzeas de Sousa (71,07%). As demais demandas apresentaram garantias de atendimento inferiores a 40%.

3. Ao se priorizar o critério social no processo de outorga apenas a demanda destinada a irrigação difusa de culturas perenes apresentou garantia de atendimento superior a 65%. As demais tiveram garantia de atendimento inferior a 30%.

4. Na outorga favorecendo o critério ambiental apenas as demandas destinadas a piscicultura intensiva, irrigação de culturas sazonais das Várzeas de Sousa, irrigação de culturas sazonais de Piancó e irrigação de culturas perenes e sazonais de Piancó I apresentaram garantias de atendimento superiores a 80%.

5. Quando o processo de outorga atribuiu pesos equivalentes entre os critérios econômico, social e ambiental apenas as demandas destinadas a piscicultura intensiva, irrigação de culturas perenes e sazonais das Várzeas de Sousa e irrigação de culturas sazonais das Várzeas de Sousa apresentaram garantia de atendimento superior a 70%.

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

7. Respondendo ao objetivo geral a que se propôs essa pesquisa, pôde-se concluir que, de uma maneira geral, a inclusão da análise multicriterial ao processo de outorga, apesar de aumentar sua complexidade, é válida, pois possibilita um maior refinamento das decisões, visto que permite o tratamento simultâneo de aspectos variados, tais como: econômicos, sociais e ambientais.

## **7.2 RECOMENDAÇÕES**

Algumas recomendações podem ser sugeridas como forma de enriquecer trabalhos futuros. A seguir estão enumeradas as recomendações propostas.

1. Efetuar outros tipos de variações para os pesos dos critérios da análise multicriterial.
2. Criar metodologias para definição dos pesos quando da existência de grupos de decisores com pareceres/preferências heterogêneas.
3. Incluir outros critérios.

4. Fazer uma análise mais abrangente levando em consideração toda a bacia do rio Piencó.
5. Incorporação do instrumento da cobrança pelo uso da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, PB – AESA (2006).
- Agência Nacional de Águas - ANA (2004). *Resolução nº 687, de 03 de Dezembro de 2004*.
- 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>.
- ALMEIDA, A.T. e COSTA, A.P.C.S. (2003). *Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão*. Recife, Ed Universitária.
- 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.
- ALMEIDA, M. M., SALIM, F. C., MENDONÇA, A. S. F. (2007). *Sistema de suporte à decisão para outorga de lançamento de efluentes e enquadramento*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- ARAÚJO, J. C.; SANTAELLA, S. T. (2001). *Gestão da Qualidade*. In: Nilson Campos; Ticiania Studart. (Org.). *Gestão de Águas: Princípios e Práticas*. 1ªed. Editora Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre-RS
- AREGAI, T.; FOGEL, M. M.; DUCKSTEIN, L.(1988). Multicriterion selection of wastewater management alternatives. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.14, n.4.
- ARNÉZ, F. A. (2002). *Análise de Critérios de Outorga do Uso da Água na Bacia do Rio Santa Maria – RS*. Dissertação de Mestrado. 140 pg. Porto Alegre – RS.
- AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M. F.; BALTAR, A. M. e 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.
- BANCO DO NORDESTE S/A (2006). *Manual de Orçamentos Agropecuários*. Campina Grande – PB.
- BARCELLOS, L. O.; NETTO, O. M. C.; CAMPANA, N. A. (2003). *Definição de Regras Operativas de Reservatórios com Usos Múltiplos: O Caso da Barragem do Bico da Pedra*. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba – PR.

- BORDIGNON, N. J. (2005). *Proposta de Procedimentos para Definição de Critérios de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos e de Usos Insignificantes para a Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Blumenau – RS.158 pg.
- BRAGA Jr., B. P. F., GOBETTI, L. (2002). Análise Multiobjetivo - In: Porto, R. L L. *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2ª ed., Capítulo 7, Porto Alegre, RS, Brasil, Ed. UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- 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.
- BRAGA, B. P. F.; MARCELLINI, L.; BARROS, M. T. L.; ALMEIDA, S. B. (1991). Análise de decisão multiobjetivo: O caso do Vale do Rio Doce. In: Anais de IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.2.
- BRAGA, C. F. C. (2001). *Avaliação Multicriterial e Multidecisória no Gerenciamento da Demanda Urbana de Água*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba.
- BRANS, J. P. e VICKE, P. (1985). *A Preference Ranking Organization Method. (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)*. Management Science, v. 31, n.6, p. 647-656.
- BRASIL (1997). *Lei nº 9.433*. Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria dos Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.
- BRIGAGÃO, E. N., NETTO, O. M. C. (2007) *Proposta para Integração de Análise Econômica e Financeira ao Sad Acquanet*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- BRITO, A. J. M. (2006). Modelo Multicritério para Classificação de Trechos de Gasodutos quanto a Riscos de Acidentes Decorrentes de Vazamento de Gás Natural. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, 96p. Departamento de Engenharia de Produção. UFPE. Recife - PE
- BUARQUE, D. C.; PEDROSA, V. A.; CARVALHO, G. S. e FREIRE, C. C. (2003). Critérios de demandas hídricas para a outorga de uso da água: setor sucro-alcooleiro. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba - PR.
- CAVALCANTE, C.A.V. (2005). *Modelagem de decisão multicritério no planejamento da manutenção abordando problemáticas de escolha e classificação*. Tese de Doutorado. 136p. Universidade Federal de Pernambuco/UFPE. Recife-PE.

- CAVALCANTE, C.A.V. e ALMEIDA, A.T. (2005). *Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando o PROMETHEE II em situações de incerteza*. Pesquisa Operacional, v. 25, n. 2, p. 279-296.
- 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
- COSTA, C. A. B., CORTE, J.; VANSNICK, J. (2004). *On the mathematical foundations of MACBETH*. London School of Economics and Political Science, Londres.
- COSTA, C. A. B.; CHAGAS, M. P. (2002). *A career choice problem: Na example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on quantitative value judgments*. London School of Economics and Political Science, Londres.
- COSTA, C. A. B.; CORTE, J.; VANSNICK, J. (2004). *On the mathematical foundations of MACBETH*. London School of Economics and Political Science, Londres.
- CRUZ, J. C. (2001). *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 189 pg.
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; SILVEIRA, A. L. L.; CRUZ, R. C. (2003). *Disponibilidade hídrica para outorga: sistemática modular de avaliação*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba - Paraná. Anais. Tema: Desafios à Gestão da Água no Limiar do Século XXI. São Paulo-SP.
- 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, pg. 75-91.
- CURI, W. F.; CURI, R.C. (2001). *ORNAP - Optimal Reservoir Network Analysis Program*. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju. CD-ROM
- DNOCS (2005) – Departamento Nacional de Obras contra a Seca
- DOORENBOS, J. e KASSAM, A. H. (2000). Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Sousa, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros. *Efeito da Água no Rendimento das Culturas*. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, v. 33, UFPB, Campina Grande.
- DUCKSTEIN, L.; OPRICOVIC, S. (1980) *Multiobjective optimization in river basin development.*, v.16, n.1.

- ENSSLIN, L.; NETO, G. M.; NORONHA, S. M. (2001). *Apoio à decisão – metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis. Insular, 2001
- FERNANDES, C. H. (1996). *Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”*. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis.
- FERNANDEZ, J. C; GARRIDO, R. J. (2002). *Economia dos Recursos Hídricos*. 1ª ed. Salvador - BA. 458 pg.
- FERREIRA, C. M., SILVA, D. J. (2007) *Aplicação de um sistema de suporte a decisão para análise de critérios de outorga de água na Bacia Hidrográfica Do Rio Canoas/Sc*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- FILHO, J. S. V.; LANNA, A. E. L.; MACHADO, A. A. (1999). *A modelagem orientada a objetos aplicada a sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Belo Horizonte.
- FLAMENT, M. (1999). *Glossário multicritério*. Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicritério, Espanha. Disponível em: <[www.unesco.org.uy/redm/glosariom.htm](http://www.unesco.org.uy/redm/glosariom.htm)>
- FRANCATO, A.L. e BARBOSA, P.S.F. (2003). *Soluções de compromisso na tomada de decisão sobre a operação diária de sistemas urbanos de abastecimento de água*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba, 23-27 de novembro de 2003.
- GARCIA, J. I. B., PORTO, R. L. L., MARCELLINI, S. S., GARCIA, L. A. V., ROBERTO, A. N. (2007) *Avaliação da disponibilidade hídrica para a concessão de outorga através de modelo de suporte à decisão – Aplicação na Bacia do Turvo no Estado de São Paulo*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- GARTNER, I. R. (2001). *Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas*. Editora Universa, Brasília.
- GOBETTI, L. C. e BRAGA, B. P. F. (1997). *Análise Multiobjetivo*. 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. 360-419.
- GOMES, H. P. (1999). *Engenharia de Irrigação Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento*. Editora Universitária – UFPB, Campina Grande-PB, 3ª Edição. 412p.

- GONÇALVES, R.W.; PINHEIRO, P.R.; FREITAS, M.A. S. (2003). *Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do rio Curu – Estado do Ceará*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba - PR.
- HARRIS, V.; SINGER, E. (1991). *Reduzindo a subjetividade da ponderação de critérios na análise multicriterial para Recursos Hídricos*. In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.2.
- HOLZ, E. (1999). *Estratégias de equilíbrio entre a busca de benefícios privados e os custos sociais gerados pelas unidades agrícolas familiares*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- HOLZ, J., SILVA, C. O, RODRIGUES, D. F., CHAVES, I. M. P., ALMEIDA, J. C., BARROS, T. T., SEIXAS, C. C. P., SORGATO, J. P. A. (2007) *Análise comparativa dos procedimentos de pedidos de outorga para uso das águas superficiais nos Estados Brasileiros*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- HUSSAR, G. J., ARRUDA, J. J. A. (2001). Criação de peixes: construção de tanques, sistema de criação e principais espécies. Boletim Técnico nº 4, FPE – Fundação Pinhalense de Ensino. Espírito Santo do Pinhal: CREURI. pg.38.
- JARDIM, S. B. (1999). *Aplicabilidade de algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório no Âmbito de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre – RS.
- KEENEY, R.; WOODY, E. F. (1977). An illustrative example of the use of multiattribute utility theory for water resource planning. Water Resource Research, v. 13, n. 3.
- LANNA, A. E. L. (1997). *Sistemas de Suporte à Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos*. In: PORTO, R.L.L. (Org.) *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS / ABRH.
- LANNA, A. E. L. (2003). *Água boa para todos – Como obtê-la?*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba.- PR.
- 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.

- LIMA, M.V.A. (2003). *Metodologia construtivista para avaliar empresas de pequeno porte no Brasil, sob a ótica do investidor*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- LMRS (2006) Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto
- MATOS, E. L. (2001). *Autonomia Municipal e Meio Ambiente*, Belo Horizonte, Editora Del Rey..
- 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.
- MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H. (1999). *Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators*. Center for International Forestry Research, Jakarta. Disponível em: <[www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html](http://www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html)>.
- MOLLE, F., CADIER, E. (1992). Manual do pequeno açude. SUDENE-DPG-PRN-APR, Recife/PE.
- MORAES, M. M. G., FILHO, B. E. M. A., ROCHA, S. P. V. (2007) *Avaliação do mecanismo de outorga no alcance do ótimo social usando modelagem econômico-hidrológica integrada: O caso da bacia do rio Pirapama*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- NORONHA, S. M. D. (1998) *Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <[www.eps.ufsc.br/disserta98/noronha](http://www.eps.ufsc.br/disserta98/noronha)>.
- OLIVEIRA, E. F. C. C. (1998). Simulação da operação e estimativa dos benefícios sócio-econômico do reservatório Coremas / Mãe D'água sujeito a múltiplos usos. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 207.
- ONO, E.A.; KUBITZA, F. (2003). *Cultivo de peixes em tanque-rede*. 3ª edição. Jundiaí – SP. ESALQ/USP.
- PAIVA, J. B. D., PAIVA, E. M. C. D. (2003). *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. ABRH-UFSM, Porto Alegre, Ed. Univesitária,
- PEDREIRA, G. C. (2005) *Estudo da otimização do uso dos recursos hídricos do reservatório Poço Redondo e determinação de indicadores de desempenho do reservatório e do perímetro*

- irrigado*. Campina Grande: UFCG – Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Dissertação de Mestrado.
- PERH (2006). *Plano Estadual de Recursos Hídricos – PB*. Resumo Executivo e Atlas
- PIRES, C.L.F. (1996). *A outorga de uso na gestão de recursos hídricos*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas e Gestão dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas. Anais. p. 319-325. Salvador-BA.
- PORTO, R. L. L. *et al.* (1997). *Técnicas quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora Universidade/ UFRGS/ABRH. 420p., Porto Alegre-RS.
- PORTO, R. L.; AZEVEDO, L. G. (1997). *Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos*. In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Ed. Da Universidade/UFRGS/ABRH (Coleção ABRH de recursos hídricos). p. 42-95. Porto Alegre.
- 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. 280 pg. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis – RS.
- RAVANELLO, M. M., TAMIOSSO, M. F., CRUZ, J. C. (2007) *Análise da Outorga do uso dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Ibicuí e Santa Maria – Rs utilizando o Ssd Outorgals*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP
- RIBEIRO, M. M. R., LANNA, A. E. L. (2001) *Instrumentos Regulatórios e Econômicos – Aplicabilidade à Gestão de Águas e à Bacia do Rio Pirapama, PE*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 6, nº 4, 41-70 pg.
- RODRIGUES, A. C. L. (2007). *Nova Proposta de Operação de Outorga em Sistemas de Reservatórios – Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Piancó*. Tese de Doutorado. 294 pg. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande – PB.
- SANTOS, R. B. (2004). *Aplicação do Método Multicriterial para Ampliação da Disponibilidade Hídrica Superficial na Bacia do Rio Gramame – PB*. Dissertação de Mestrado, 134p. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande – PB.
- SANTOS, V. S. S. (2007). *Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistemas de Recursos Hídricos*. Dissertação de Mestrado, 143p. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande – PB.

- SANTOS, V. S.; VIEIRA, A. S. (2007). *Tomada de Decisão na Definição de Culturas para o Perímetro Irrigado das Várzeas de Souza Utilizando Técnicas de Análise Multicriterial*. Trabalho final de curso. 39p. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande – PB.
- SCHVARTZMAN, A. S.; CASTRO, L. M. A.; DINIZ, M. G. M.; FERNANDES, W. S. (2003). *Aplicação do Instrumento da Outorga no Gerenciamento dos Recursos Hídricos em Minas Gerais: O Caso do Projeto Piratinga*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba – PR.
- 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.
- SETTI, A. A. (2001). *Gestão de Recursos Hídricos. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 3<sup>a</sup> ed. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Água, p. 41-88.
- SILVA, C. A. B. (2004). *Estudo da Otimização do Uso dos Recursos Hídricos dos Açudes Santa Inês, Condado, Serra Vermelha I, Piranhas, Vídeo, Vazante e Poço Redondo na Bacia do Rio Piancó*. Campina Grande: UFCG – Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. 160p. Dissertação de Mestrado.
- SILVA, M. C. L.; BRITO, J. I. B. e COSTA, A. M. N. (2004). *Proposta de Monitoramento da Precipitação Pluvial no Estado da Paraíba Utilizando a Técnica de Quantis*. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza – CE. 14p.
- SILVA, T.C. DA (1998). *Legislação Federal e Estadual sobre Recursos Hídricos temas correlatos*. Curso sobre engenharia de irrigação e gestão de recursos hídricos, UFPB.
- TEXEIRA, A. C.; BARBOSA, P. S. F. (1995). *Avaliação Multicriterial de Alternativas de Projeto de Barragens de Uso Múltiplo*. In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Ruy Sant’Ana, Mônica Porto, Rosa Martins (Ed.). ABRH. Publicações 1, v.3, pp. 73-84.
- VIEGAS FILHO, J. S.; LANNA, A. E. L.; MACHADO, A. A. (1999) *A modelagem orientada a objetos aplicada a sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos*. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (BH).
- VILAS BOAS, C. L. (2007) *Modelo multicriterial para análise de alternativas de uso múltiplo de reservatórios: Estudo de caso do reservatório do Ribeirão João Leite/Go*. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP

ZUFFO, A. C. (1998). *Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos*. Tese de Doutorado. 302 pg. Universidade de São Paulo. Pós Graduação em Engenharia de Civil. São Paulo - SP

ZUFFO, A.C.; REIS, L.F.R; SANTOS, R.F.; CHAUDHRY, F.H. (2002). *Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, nº 1.

## APÊNDICE A

**Tabela A1 – Dados de Pluviometria do Posto de Coremas (mm)**

ANOS	MESES												TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933						7,00	3,60	0,00	0,00	1,10	45,60	152,10	209,40
1934	76,80	304,30	241,90	124,90	149,80	31,80	0,00	0,00	6,30	0,00	63,00	32,10	1030,90
1935	98,10	378,80	359,90	254,20	107,80	42,20	22,30	6,60	4,50	0,00	0,00	18,20	1292,60
1936	64,40	194,20	152,50	132,20	67,90	55,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	666,70
1937	0,00	147,30	221,50	151,90	84,30	12,20	5,90	4,30	0,00	5,00	0,00	0,00	632,40
1938	62,40	64,70	302,80	187,10	63,10	15,70	1,00	0,70	0,00	30,00	0,00	0,00	727,50
1939	11,00	162,70	263,90	115,00	31,40	0,00	28,40	11,30	19,90	48,30	3,60	77,20	772,70
1940	310,00	109,90	512,90	317,80	190,70	26,90	6,10	5,90	10,40	0,00	0,90	11,60	1503,10
1941	3,80	134,30	254,40	39,40	60,30	9,30	16,70	0,40	4,40	9,50	4,90	1,30	538,70
1942	5,60	154,20	55,90	154,20	40,50	13,60	3,20	3,20	0,00	73,70	58,00	108,10	670,20
1943	111,00	52,90	262,10	143,40	10,50	4,20	7,90	2,40	0,00	0,00	21,60	1,80	617,80
1944	43,40	9,60	165,50	226,50	22,80	71,40	31,50	4,90	0,00	0,30	0,00	91,70	667,60
1945	133,40	166,10	161,30	168,60	319,70	37,50	1,40	0,00	4,00	67,70	0,00	5,50	1065,20
1946	111,30	20,20	402,00	213,50	48,70	52,40	12,10	0,00	0,00	0,00	34,20	39,70	934,10
1947	197,10	290,20	488,30	201,40	54,00	17,80	2,00	0,00	0,00	0,00	136,50	55,90	1443,20
1948	56,50	10,40	339,20	80,10	70,00	69,20	33,30	0,00	2,50	5,50	1,20	74,60	742,50
1949	33,00	34,00	53,10	191,10	144,50	25,00	0,00	79,90	0,00	0,00	123,90	0,00	684,50
1950	39,30	69,80	262,40	278,40	24,40	0,00	9,80	0,90	0,00	5,50	0,00	24,60	715,10
1951	3,20	47,00	137,60	125,80	70,80	61,70	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,20	475,30
1952	20,70	200,50	219,90	152,50	39,00	13,60	0,00	4,10	0,00	2,00	0,00	15,70	668,00
1953	5,40	23,50	174,90	57,30	6,90	13,60	6,30	0,00	1,70	2,50	43,20	7,40	342,70
1954	72,90	156,80	216,80	153,50	88,30	4,70	5,60	0,00	0,00	0,00	115,10	8,30	822,00
1955	77,10	261,40	122,10	74,40	29,40	0,00	3,20	3,20	0,00	2,20	0,00	56,80	629,80
1956	0,00	244,70	183,70	252,60	13,30	47,00	29,70	14,70	0,00	4,50	4,50	3,40	798,10
1957	123,60	2,70	357,50	226,10	23,50	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,50	758,30
1958	9,70	157,80	41,70	27,50	67,40	13,30	22,80	1,70	0,00	0,00	0,00	119,50	461,40
1959	62,70	263,20	57,10	19,70	21,30	34,70	3,50	4,30	0,00	0,00	22,50	0,00	489,00
1960	0,00	62,10	368,40	92,10	25,40	32,10	5,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	585,70
1961	161,40	166,40	282,90	47,30	45,40	15,60	19,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	738,30
1963	182,60	360,80	278,70	201,70	4,70	52,70	0,80	0,00	1,10	72,40	7,60	154,90	1318,00
1964	194,80	188,50	157,00	249,60	108,80	72,00	29,00	12,10	16,80	0,00	4,80	10,70	1044,10
1965	168,90	29,40	225,00	260,70	54,10	81,30	24,30	0,00	1,00	41,00	0,00	56,80	942,50
1966	91,80	137,40	40,40	113,20	60,00	99,30	26,90	2,90	0,00	1,10	146,60	44,10	763,70
1967	54,20	369,70	300,30	403,00	119,10	8,20	11,50	5,40	0,00	0,00	0,00	45,50	1316,90
1968	87,00	44,60	382,50	113,10	153,90	12,10	38,20	0,00	0,00	0,00	0,00	14,70	846,10
1969	162,10	56,40	215,50	207,00	35,20	14,80	63,70	0,00	3,60	0,00	0,00	5,10	763,40
1970	218,90	46,20	214,80	103,30	43,30	1,70	17,10	5,30	0,00	8,20	1,20	2,10	662,10
1971	100,20	120,30	348,30	0,00	163,40	65,40	33,00	0,50	56,70	7,40	2,50	20,20	917,90
1972	159,00	111,00	103,00	175,90	45,80	43,60	14,00	100,20	0,00	42,00	0,00	60,80	855,30
1973	85,30	84,90	216,10	355,70	218,40	131,90	6,10	7,10	11,30	62,60	0,00	30,50	1209,90
1974	268,60	208,90	353,70	393,00	162,80	31,20	29,00	5,00	20,80	25,80	92,30	35,80	1626,90
1975	81,60	272,00	189,00	242,40	101,50	24,10	75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,70	1046,30
1976	60,70	161,30	251,80	118,90	34,60	8,30	8,70	1,60	0,00	93,80	37,50	27,30	804,50
1978	0,00	328,80	135,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	464,40
1979	77,10	341,70	287,80	98,50	53,70	34,30	10,30	13,80	23,40	29,20	8,70	0,00	978,50

Continuação – Tabela A1

<b>1980</b>	94,20	299,10	196,50	35,50	0,00	44,40	0,00	0,00	0,00	7,80	18,70	0,00	696,20
<b>1981</b>	173,60	108,90	486,40	43,80	0,00	6,40	0,00	0,00	0,00	0,00	91,20	92,60	1002,90
<b>1982</b>	60,70	107,60	93,50	422,50	73,80	12,60	4,30	0,00	0,00	0,00	3,70	2,50	781,20
<b>1983</b>	83,10	163,00	154,10	82,40	18,60	9,20	0,00	19,80	0,00	0,00	0,00	6,60	536,80
<b>1984</b>	76,70	50,60	306,30	318,80	221,20	1,80	31,60	30,00	11,80	12,00	0,00	7,40	1068,20
<b>1985</b>	222,50	323,80	341,60	504,40	189,60	127,00	20,50	20,40	1,60	0,00	1,60	84,70	1837,70

**Tabela A2 - Dados de Pluviometria do Posto de Sousa (mm)**

ANOS	MESES												TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1911	271,20	38,40	249,10	31,70	0,00	0,00	51,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	641,60
1913	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,50	19,50	0,00	109,50	161,50
1914	218,70	127,20	100,70	141,30	60,10	91,80	42,10	71,30	0,00	2,30	4,70	0,00	860,20
1915	0,00	8,00	5,70	87,10	73,20	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	57,60	232,30
1916	93,00	158,60	386,10	218,30	26,80	23,90	0,20	26,80	0,00	0,00	124,90	71,60	1130,20
1917	369,00	285,90	199,40	172,00	100,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	1133,40
1918	140,30	0,00	137,10	72,20	107,90	91,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,00	566,90
1919	0,00	86,90	63,00	0,00	0,00	0,00	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30	173,70
1920	0,00	37,70	235,50	124,70	44,60	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	158,30	650,80
1921	55,40	197,10	435,40	104,90	90,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	882,90
1922	0,00	92,70	120,60	314,00	57,00	23,70	0,00	0,00	0,00	0,00	129,90	0,00	737,90
1923	35,00	100,20	62,20	63,40	74,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	335,50
1924	70,10	91,70	277,10	670,40	140,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1250,20
1925	102,90	109,60	342,90	125,10	52,10	1,40	9,00	8,80	14,50	0,00	0,00	16,60	782,90
1926	41,60	62,30	279,10	139,50	49,40	33,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	606,90
1927	6,00	218,90	143,50	164,10	31,60	13,70	11,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	589,50
1928	10,00	19,40	217,90	89,00	43,20	0,00	0,70	0,00	2,30	0,00	0,00	12,90	395,40
1929	14,50	160,40	150,30	139,80	10,90	34,40	2,40	0,10	4,10	28,00	28,00	13,70	586,60
1930	19,40	47,40	144,80	176,20	31,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	419,60
1931	3,00	57,80	201,00	58,40	14,40	0,00	13,00	7,00	0,00	12,30	0,00	0,00	366,90
1932	33,00	22,40	46,10	6,10	0,00	13,30	6,30	0,00	33,50	0,00	0,00	0,00	160,70
1933	130,00	164,30	219,30	198,40	19,20	8,00	1,90	0,90	0,00	3,00	26,30	39,90	811,20
1934	210,90	284,50	272,70	180,50	112,80	41,50	0,00	0,00	2,00	6,30	13,00	154,20	1278,40
1935	166,20	319,00	233,70	126,40	74,90	43,90	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	994,10
1936	60,60	347,70	156,50	140,20	37,30	50,80	4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	797,70
1937	0,00	232,30	243,00	103,10	120,20	36,20	15,00	8,30	15,70	0,00	0,00	2,20	776,00
1938	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	5,10
1939	15,60	225,00	379,00	114,10	54,80	5,30	20,70	9,00	2,10	29,50	14,50	13,00	882,60
1940	260,80	102,80	520,50	156,60	139,90	53,10	16,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1249,80
1941	11,70	191,20	388,60	0,00	120,10	13,50	11,20	0,00	0,00	0,00	8,70	14,20	759,20
1942	0,00	81,30	62,10	72,10	3,20	25,40	4,30	0,00	0,00	23,20	3,20	111,20	386,00
1943	53,00	6,60	186,80	74,50	15,20	25,00	13,00	3,00	0,00	0,00	10,20	27,00	414,30
1944	8,80	20,00	284,40	225,50	30,80	17,00	15,00	0,00	6,00	0,00	0,00	55,00	662,50
1945	186,70	61,70	150,00	86,30	197,00	82,00	4,00	6,00	0,00	7,00	0,00	0,00	780,70
1946	111,00	126,60	183,00	126,40	59,70	17,40	21,00	0,00	0,00	12,00	15,40	35,40	707,90
1947	126,30	219,40	305,70	298,10	37,40	7,80	0,00	0,00	0,00	0,00	176,00	61,30	1232,00
1948	63,50	27,60	94,70	111,00	98,20	41,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,70	470,20
1949	0,00	209,30	240,10	268,40	273,20	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,00	0,00	1140,00
1950	19,00	58,00	172,30	175,60	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	0,00	9,00	461,90
1951	56,00	150,00	14,30	103,30	92,00	47,80	4,00	0,00	0,00	23,00	0,00	19,00	509,40
1952	13,80	12,80	91,00	186,00	38,30	5,00	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	389,20
1953	6,30	16,60	295,50	98,00	36,00	17,50	7,00	0,00	0,00	0,00	14,00	0,00	490,90
1954	68,30	161,50	195,50	98,00	148,50	19,00	17,00	0,00	0,00	0,00	45,00	0,00	752,80
1955	196,00	139,00	100,00	108,00	67,00	0,00	16,00	10,00	0,00	29,00	4,00	31,00	700,00
1956	54,00	356,00	99,00	137,00	81,00	34,00	23,00	0,00	0,00	0,00	36,00	0,00	820,00
1957	87,00	19,00	149,40	100,00	3,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	402,40

Continuação da Tabela A2

<b>1958</b>	30,00	10,00	240,00	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,00	330,00
<b>1959</b>	126,00	227,00	120,00	32,00	88,00	52,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	659,00
<b>1960</b>	0,00	18,00	384,00	206,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	620,00
<b>1961</b>	156,00	250,00	312,00	88,00	68,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	881,60
<b>1962</b>	12,00	136,40	214,40	92,00	40,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	22,00	530,80
<b>1963</b>	47,60	346,00	285,30	225,00	5,00	15,00	0,00	0,00	0,00	35,00	57,00	214,00	1229,90
<b>1964</b>	55,00	235,50	242,80	349,40	62,00	101,40	32,30	0,00	0,00	0,00	10,30	6,30	1095,00
<b>1965</b>	194,00	25,00	221,80	323,80	65,20	61,20	15,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	909,00
<b>1966</b>	35,00	201,10	150,50	88,40	52,30	89,50	18,60	0,00	4,70	0,00	7,00	29,00	676,10
<b>1967</b>	19,90	340,80	303,80	308,80	249,00	25,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	1286,60
<b>1968</b>	68,00	0,00	197,40	34,90	84,50	5,00	12,20	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	417,00
<b>1969</b>	119,10	130,10	153,70	235,80	71,30	23,60	40,20	11,10	10,70	8,60	0,00	0,00	804,20
<b>1970</b>	80,70	71,60	227,40	28,90	5,90	0,00	2,50	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	429,00
<b>1971</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,20	40,80	0,00	14,70	9,70	0,00	0,00	113,40
<b>1972</b>	0,00	173,80	88,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	262,30
<b>1977</b>	155,10	169,00	350,10	236,40	173,00	58,50	31,10	0,00	0,00	0,00	0,00	176,10	1349,30
<b>1978</b>	165,60	338,30	117,20	86,70	161,30	48,50	50,80	0,00	4,80	5,90	10,30	0,00	989,40
<b>1979</b>	119,30	220,60	263,80	116,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	719,80
<b>1983</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	32,00

**Tabela A3 – Dados de Fluviometria médias mensais de Curema-Mãe D'Água (m³/s)**

ANOS	MESES												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
1969	1.33	1.21	3.47	6.91	4.68	2.80	2.23	0.53	0.11	0.02	0.01	0.26	23.56
1970	7.63	1.80	31.06	5.40	0.92	0.24	0.13	0.04	0.02	0.39	0.19	0.07	47.89
1971	6.59	46.65	57.38	98.58	26.94	11.12	0.60	0.08	0.23	0.28	0.08	0.09	248.62
1984	0.88	4.30	21.65	122.94	17.29	5.05	2.69	0.23	0.05	0.11	0.18	0.32	175.69
1985	43.34	164.19	116.55	267.69	90.89	24.06	8.17	7.83	1.73	0.07	0.06	8.97	733.55
1986	14.02	41.57	92.06	145.56	81.94	14.03	7.96	7.63	3.03	0.51	4.47	1.88	414.66
1987	4.97	9.13	23.14	26.57	6.75	3.80	0.35	0.23	0.04	0.03	0.03	0.02	75.06
1988	6.65	12.74	18.09	122.22	20.22	3.09	5.27	3.42	3.33	3.24	2.77	8.16	209.20
1989	12.24	8.58	16.02	77.74	60.45	21.20	3.47	2.84	0.73	1.25	0.09	5.13	209.75
1991	12.92	43.12	16.85	6.06	66.37	1.53	0.09	0.13	0.12	0.16	0.31	0.26	147.91
1992	2.35	15.06	11.75	16.32	2.98	0.05	0.06	0.10	0.14	0.23	1.37	0.27	50.69