



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS



TESE DE DOUTORADO

MÁRCIA ARAÚJO DE ALMEIDA

**INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE OUTORGA, COBRANÇA E ANÁLISE
MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR:
UMA APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO PARAÍBA-PB**

Campina Grande - PB
2016

MÁRCIA ARAÚJO DE ALMEIDA

**INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE OUTORGA, COBRANÇA E ANÁLISE
MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR:
UMA APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO PARAÍBA-PB**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Naturais da
Universidade Federal de Campina Grande
como requisito final para obtenção do título
de Doutor.**

Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais
Linhas de Pesquisa: Gestão de Recursos Naturais

ORIENTADOR: Wilson Fadlo Curi, Dr.

Campina Grande - PB
2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A447i

Almeida, Márcia Araújo de.

Integração de modelos de outorga, cobrança e análise multicriterial e multidecisor : uma aplicação na bacia do Rio Paraíba-PB / Márcia Araújo de Almeida. – Campina Grande, 2017.

229 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi".

Referências.

1. Recursos Hídricos – Gerenciamento. 2. Instrumentos de Gestão – Outorga e Cobrança. 3. Análise Multicriterial. I. Curi, Wilson Fadlo. II. Título.

CDU 556.18(043)

MÁRCIA ARAÚJO DE ALMEIDA

INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE OUTORGA, COBRANÇA E ANÁLISE MULTICRITERIAL
E MULTIDECISOR: UMA APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO PARAIBA-PB

APROVADA EM: 30/11/2016

BANCA EXAMINADORA



Dr. WILSON FABLO CURI
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Orientador



Dr. GESINALDO APAIDE CÂNDIDO
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Avaliador Interno



Dr. JOSÉ DANTAS NETO
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Avaliador Interno



Dr. MARIA DO CARMO MARTINS SOBRAL
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Avaliador Externo



Dr. VALTERLIN DA SILVA SANTOS
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Avaliador Externo

DEDICATÓRIA

Com carinho, aos meus queridos pais,

Teresa Marques e Inácio Araújo,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e conquistas realizadas em minha vida.

Um OBRIGADO especial aos meus pais e irmãos por todo o incentivo e apoio ao longo da minha trajetória.

Ao orientador Wilson Fadlo Curi, pela orientação e incentivo constante e pela boa convivência proporcionada ao longo da realização deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais pelos ensinamentos e empenho em proporcionar uma boa formação aos alunos do curso.

A funcionária Cleide Santos, pelos serviços prestados, respeito e atenção dispensada e a professora e amiga Dayse Luna, pelo apoio nos momentos necessários.

A todos da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), que colaboraram com a disponibilização de informações para a realização dessa pesquisa.

Agradeço aos meus colegas Mônica, Alcides, Ana Carolina e aos demais com os quais eu tive a oportunidade de conviver durante este período.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão deste curso de doutorado.

RESUMO

O atendimento de demandas crescentes de água, para finalidades múltiplas, envolvendo conflitos entre os usuários, é um dos grandes desafios a ser resolvido na gestão dos recursos hídricos, considerando que a água tem diferente importância para cada usuário que, por sua vez, atribui diferentes prioridades para cada um de seus usos. Um dos destaques, dentro desses desafios é a necessidade de se promover avanços no emprego de mecanismos de alocação de água, com a integração de instrumentos de gestão de recursos hídricos: como a outorga e a cobrança, associados a uma análise multicriterial e multidecisor, para que se possam compatibilizar as disponibilidades hídricas de uma bacia aos usos da água, em seus diversos setores socioeconômicos e ambientais. Neste contexto, este estudo teve por objetivo integrar os instrumentos de outorga e cobrança sob a vista de uma análise multicriterial. As prioridades para concessão dos volumes outorgados foram obtidas via análise multicriterial e um modelo de otimização para outorga. O modelo de cobrança levou em consideração os volumes outorgados e aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais relacionados ao sistema de recursos hídricos. A área definida para o desenvolvimento da pesquisa é a bacia hidrográfica do Rio Paraíba-PB, que está inserida na região semiárida do Nordeste brasileiro. Os reservatórios selecionados para a aplicação da metodologia foram Poções, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa e Acauã. A ordem dos usos da água para outorga foi obtido através da aplicação do método de análise multicriterial Promethee onde os pesos, representando as preferências, foram estabelecidos por múltiplos decisores que participaram da pesquisa. O modelo de outorga utilizado foi adequado aos propósitos de otimizar a garantia dos pedidos de outorga de água de acordo com a prioridade dos usuários, adaptando a disponibilidade de água as suas demandas. O modelo de cobrança proposto permite variar o valor cobrado aos volumes outorgados incorporando coeficientes que representam diferentes perfis de usuários: se estes realizam reservas de água, utilizam sistemas mais eficientes e tratam o efluente a ser lançado. O modelo de outorga mostrou que pode ser utilizado nos processos decisórios de inserção e avaliação de novos pedidos de outorga, possibilitando, ainda, avaliar situações quando acrescidas as vazões de contribuição do eixo leste do PISF. O modelo de cobrança proposto pode ser visto como um instrumento que possa exercer seu papel de incentivo ao uso racional, redução de perdas nos sistemas de abastecimento, melhorias no tratamento de efluentes e desestimule as reservas de água, entre outros aspectos, além de ter a finalidade arrecadatória.

Palavras-chave: Outorga, Cobrança, Gerenciamento de Recursos Hídricos, Instrumentos de Gestão, Análise multicriterial.

ABSTRACT

The answer to growing demands for water for multiple purposes, involving conflicts among users, is one of the major challenges to be solved in the management of water resources, considering that water has different importance for each user, which assigns different priorities for each of its uses. One of the highlights within these challenges is the need to promote advances in the use of water allocation mechanisms, with the integration of water resources management instruments such as: water rights grants and charging mechanisms associated with a multi-criteria and multi-decision maker analysis in order to address the basin water availability to its economic, social and environmental uses. In this context, this study aimed to integrate the water right grant and charging instruments to promote water allocation under a multicriteria analysis view. The priorities to the user's water right volumes allocation were attained via a multicriteria and multi-decision maker approach and a water right optimization model. The water charging model takes into account the granted water rights volumes as well as technical, economic, social and environmental aspects of the water resources system. The area defined for the research development is the watershed of the Rio Paraíba-PB, which is inserted in the semiarid region of the Brazilian Northeast region. The selected reservoirs for the application of the methodology were Poções, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa and Acauã. The ranking of water uses for granting water rights were attained from the application of the multicriteria Promethee analysis where the weights, representing preferences, were assigned by multi-decision makers, which participate in this research. The water right grant model utilized was adequate for the purpose of optimizing the guarantee of the variable water grants demands according to the users priority order, by adapting the water availability to its demands. The proposed charging model allows one to vary the amount of charged price of the granted water volumes, by incorporating coefficients representing different user profiles: if they make water reserves, use more efficient water systems and treat their effluent. The water rights grant model showed that it can be used to evaluate the possibility of insertion of new water users, as well as to evaluate situations when are added the contribution of flows of the PISF's east axis. The proposed water charging model can be seen as an instrument that play a role to encourage the rational water use, to reduce losses in supply systems, to improve the wastewater treatment and discourage water reservations, among other aspects, besides being a tax collection instrument.

Key Words: Water Rights Grant, Water Charging, Water Resources Management. Management instruments, Multicriterial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama de distorção entre os custos sociais e privados	44
Figura 2.2 - Metodologias de cobrança pelo uso da água	47
Figura 2.3 - Estrutura de um sistema de suporte à decisão	73
Figura 3.1 - Funções de Preferência- Método Promethee	90
Figura 3.2 - Esquema dos casos de ocorrência de déficit hídrico e vertimento	96
Figura 3.3 - Linearização da curva área-volume	98
Figura 3.4 – Fluxograma do modelo de outorga	100
Figura 4.1 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba	107
Figura 4.2 - Hidrografia com os principais cursos d'água da bacia do Rio Paraíba	108
Figura 4.3 - Reservatórios selecionados para a pesquisa.....	114
Figura 4.4 - Eixo Leste do Projeto de Integração do PISF	117
Figura 4.5 – Canal da Integração entre Acauã e Araçagi	117
Figura 5.1 – Cronograma de aplicação da metodologia da pesquisa	119
Figura 5.2 – Integração dos modelos aplicados.....	120
Figura 5.3 – Critérios e subcritérios considerados na análise multicriterial.....	122
Figura 5.4 – Fluxograma do modelo de outorga	129
Figura 5.5 - Esquema do sistema a ser estudado	130
Figura 5.6 – Distribuição das águas do PISF-Eixo Leste, na bacia do Rio Paraíba	136
Figura 6.1 – Avaliação dos decisores quanto ao grau de importância dos critérios.	139
Figura 6.2a – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 1 e 2	144
Figura 6.2b – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 3 e 4	144
Figura 6.2c – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 5 e 6	145
Figura 6.2d – Ranking das prioridades das alternativas do decisor 7 e 8	145
Figura 6.2e – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 9 e 10	146
Figura 6.2f – Ranking das prioridades das alternativas do decisor 11	146
Figura 6.3 – Influência dos critérios da dimensão econômica no desempenho das alternativas	148
Figura 6.4 – Ranking das alternativas para a dimensão econômica	148
Figura 6.5 – Influência dos critérios da dimensão social no desempenho das alternativas ...	149
Figura 6.6 – Ranking das alternativas para a dimensão social	149
Figura 6.7 – Influência dos critérios da dimensão técnica no desempenho das alternativas	150
Figura 6.8 – Ranking das alternativas para a dimensão técnica	150
Figura 6.9 – Influência dos critérios da dimensão ambiental no desempenho das alternativas	151

Figura 6.10 – Ranking das alternativas para a dimensão ambiental	151
Figura 6.11 – Consistência dos Resultados simulados no Visual Promethee	153
Figura 6.12- Ranking global das alternativas	153
Figura 6.13- Ranking global de prioridade de atendimento às outorgas	154
Figura 6.14 – Resultado do ranking das alternativas, por decisores, para a simulação 1.....	155
Figura 6.15 – Resultado do ranking das alternativas, por decisores, para a simulação 2	156
Figura 6.16 – Resultado do ranking das alternativas, por decisores, para a simulação 3.	156
Figura 6.17a- Volumes armazenados no reservatório Poções e sem falhas no atendimento à outorga-C1-A.	158
Figura 6.17b- Volumes armazenados no reservatório Poções e sem falhas no atendimento à outorga-C2-A	159
Figura 6.18a- Volumes armazenados no reservatório Cordeiro e falhas no atendimento ao abastecimento humano – Cenário C1-A.	161
Figura 6.18b- Volumes armazenados no reservatório Cordeiro e falhas no atendimento à irrigação localizada – Cenário C1-A.	162
Figura 6.18c- Volumes armazenados no reservatório Cordeiro e falhas no atendimento à irrigação por aspersão – Cenário C1-A.	162
Figura 6.19 - Volumes armazenados no reservatório Camalaú e sem falhas no atendimento à outorga-Cenário C1-A.	163
Figura 6.20- Volumes armazenados no reservatório Camalaú e sem falhas no atendimento à outorga-Cenário C1-B.	164
Figura 6.21- Volumes armazenados no reservatório Camalaú e sem falhas no atendimento à outorga-Cenário C2-A.	165
Figura 6.22a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C1-A.	168
Figura 6.22b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-A.	168
Figura 6.22c- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação por aspersão - Cenário C1-A.	169
Figura 6.22d- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para irrigação por sulco - Cenário C1-A.	169
Figura 6.22e- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-A.	170
Figura 6.22f- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C1-A.	170
Figura 6.23a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C1-B.	171
Figura 6.23b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-B.	171
Figura 6.23c- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento	

às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-B.	172
Figura 6.23d- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para irrigação por sulco - Cenário C1-B.	172
Figura 6.23e- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-B.	173
Figura 6.23f- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C1-B.	173
Figura 6.24a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C2-A.	174
Figura 6.24b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C2-A.	175
Figura 6.24c- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para a irrigação por aspersão - Cenário C2-A.	175
Figura 6.24d- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para irrigação por sulco - Cenário C2-A.	176
Figura 6.24e- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às novas outorgas para a irrigação localizada - Cenário C2-A.	176
Figura 6.24f- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C2-A.	177
Figura 6.25a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C2-B.	178
Figura 6.25b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C2-B.	179
Figura 6.26a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para Aquicultura - Cenário C1-A.	182
Figura 6.26b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C1-A.	182
Figura 6.26c- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para Aquicultura - Cenário C1-B.	183
Figura 6.26d- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C1-B.	183
Figura 6.27a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C1-A – invertido.	184
Figura 6.27b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para aquicultura - Cenário C1-A – Invertido.	185
Figura 6.28a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para o abastecimento humano - Cenário C2-A.	186
Figura 6.28b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para a indústria - Cenário C2-A.	186
Figura 6.28c- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para Aquicultura - Cenário C2-A.	187

Figura 6.28d- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para a irrigação por aspersão - Cenário C2-A	187
Figura 6.28e- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para a irrigação por sulco - Cenário C2-A	188
Figura 6.28f- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas as novas outorgas para Aquicultura - Cenário C2-A	188
Figura 6.28g- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas as novas outorgas para irrigação - Cenário C2-A.	189
Figura 6.29a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento às novas outorgas para Aquicultura - Cenário C2-B.	190
Figura 6.29b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C2-B	191
Figura 6.29c- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas ao canal da integração (1,0 m ³ /s) - Cenário C2-B.	191
Figura 6.29d- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento ao canal da integração (1,5 m ³ /s) - Cenário C2-B	192
Figura 6.29e- Volumes armazenados no reservatório Acauã e as falhas no atendimento ao canal da integração (2,0 m ³ /s) - Cenário C2-B	192
Figura 6.29f- Volumes armazenados no reservatório Acauã e as falhas no atendimento ao canal da integração (2,5 m ³ /s) – Cenário Cenário C2-B.....	193

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 – Peso médio dos decisores por dimensão dos critérios	140
Gráfico 6.2 - Fluxos positivas e negativas dos critérios por alternativa	141
Gráfico 6.3 - Fluxos positivos das alternativas por decisor	142
Gráfico 6.4 - Fluxos negativos das alternativas por decisor	142
Gráfico 6.5 - Fluxos líquidos das alternativas por decisor	143
Gráfico 6.6 – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário C1– Poções.	195
Gráfico 6.7a – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário 1 – Cordeiro.	197
Gráfico 6.7b – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 2 do Cenário 1 – Cordeiro.	198
Gráfico 6.8 – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário C1 – Camalaú	200
Gráfico 6.9a – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário C1 – Epitácio Pessoa	202
Gráfico 6.9b – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 2 do Cenário C1 – Epitácio Pessoa	203

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Critérios de outorga adotados nos estados brasileiros	41
Tabela 4.1 - Área e localização da sub-bacia do rio Taperoá e regiões do Rio Paraíba	108
Tabela 5.1 – Matriz de alternativas e critérios para análise multicriterial	127
Tabela.5.2 - Área da bacia hidrográfica, localização e volumes máximo e mínimo	130
Tabela 5.3: Evaporação média mensal (mm) nos reservatórios	131
Tabela 5.4 - Coeficientes propostos para a metodologia da cobrança	133
Tabela 6.1 – Pesos normalizados dos critérios, atribuídos pelo decisor 1.....	139
Tabela 6.2 – Resultados dos pesos normalizados para os 11 decisores	139
Tabela 6.3 – Ranking individual dos decisores	147
Tabela 6.4 – Matriz da avaliação global	152
Tabela 6.5 – Equações e parâmetros adotados na simulação 1	154
Tabela 6.6 – Equações e parâmetros adotados na simulação 2	155
Tabela 6.7 – Equações e parâmetros adotados na simulação 3	155
Tabela 6.8 - Pedido de Outorga (m ³ /s) – Açude Poções	157
Tabela 6.9. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C1-A - Poções.....	157
Tabela 6.10. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C2-A - Poções. ...	158
Tabela 6.11 - Pedidos de Outorga por ordem de prioridade (m ³ /s) – Açude Cordeiro	159
Tabela 6.12. Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A – Cordeiro.	160
Tabela 6.13 - Pedido de Outorga (m ³ /s) – Açude Camalaú	163
Tabela 6.14. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C1-A – Camalaú.	163
Tabela 6.15. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C1-B – Camalaú	164
Tabela 6.16 Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C2-A – Camalaú .	165
Tabela 6.17 - Pedidos de Outorga por ordem de prioridade (m ³ /s) – Açude Epitácio Pessoa	166
Tabela 6.18 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A e C1-B – Epitácio Pessoa.	167
Tabela 6.19 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-A – Epitácio Pessoa	174
Tabela 6.20 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-B – Epitácio Pessoa	178

Tabela 6.21 - Pedidos de Outorga por ordem de prioridade (m3/s) – Açude Acauã	180
Tabela 6.22 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A e C1-B - Acauã.	181
Tabela 6.23 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A- Acauã – Prioridades Invertidas	184
Tabela 6.24 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-A – Acauã	185
Tabela 6.25 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-B – Acauã.	190
Tabela 6.26 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Poções.	194
Tabela 6.27 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Cordeiro.	197
Tabela 6.28 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes-Camalaú	200
Tabela 6.29 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes – Epitácio Pessoa	202
Tabela 6.30 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes – Acauã	204
Tabela 6.31 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes – Acauã	206

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Considerações apresentadas pela Lei 9.433 sobre outorga de uso da água	34
Quadro 2.2 - Considerações apresentadas no Decreto 19.260/97	37
Quadro 2.3 - Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos no Brasil.....	54
Quadro 5.1 – Cenários para aplicação do modelo de outorga.	134
Quadro 5.2 – Cenários para aplicação do modelo de cobrança.	137

LISTA DE SIGLAS

AESA - Agência Executiva das Águas do Estado da Paraíba
ANA – Agência Nacional de Águas
AHP - Analytic Hierarquic Preocess
CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
CBH-PB - Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba
CBH-PCJ - Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
CBH-Doce – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce
CEIVAP - Comitê Executivo da Bacia do Rio Paraíba do Sul
CBH-TJ - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê Jacaré
CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ELECTRE - Elimination et Chix Traduisant la Réalité
IDEME-PB - Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba.
MCDA - *Multicriteria Decision Analysis*
PERH/PB - Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
PIB - Produto Interno Bruto
PISF - Projeto de Integração do Rio São Francisco
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos
PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SSD – Sistema de Suporte a Decisão

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	19
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	22
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	22
1.3 JUSTIFICATIVA.....	22
CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 ASPECTOS DO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	25
2.2 OUTORGA DE DIREITO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS	29
2.2.1 <i>Doutrinas da Outorga</i>	31
2.2.2 <i>Aspectos Legais da Outorga</i>	33
2.2.3 <i>A Outorga no Estado da Paraíba</i>	35
2.2.4 <i>Critérios de Outorga</i>	38
2.3 INSTRUMENTO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA BRUTA.....	42
2.3.1 <i>Abordagens sobre as externalidades causadas pelo uso da água</i>	43
2.3.2 <i>Metodologias da valoração da água</i>	46
2.3.3 <i>A Cobrança pelo Uso da Água no Brasil e seus Aspectos Legais</i>	51
2.3.4 <i>O instrumento da cobrança no Estado da Paraíba</i>	55
2.3.5 <i>Metodologia atual da cobrança no Estado da Paraíba</i>	59
2.3.6 <i>Modelos de cobrança em bacias hidrográficas federais</i>	60
2.3.7 <i>Cobrança em bacias com águas de dominialidade da União e do Estado</i>	66
2.3.8 <i>Publicações sobre o instrumento da cobrança no Brasil</i>	68
2.4 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO – SSD	71
2.4.1 <i>Análise Multicriterial</i>	74
2.4.2 <i>Correntes Científicas de Apoio à Tomada de Decisão</i>	77
2.4.3 <i>Experiências nacionais e internacionais em utilização de métodos multiobjetivos e multicriteriais</i>	82
CAPÍTULO III - MODELOS APLICADOS.....	87
3.1 MÉTODO PROMETHEE – Preference Ranking Method For Enrichment Evaluation	87
3.1.1 <i>Descrição do Método Promethee</i>	87
3.1.2 <i>Ordenação da preferência dos Decisores</i>	91
3.1.3 <i>Ordenação global dos multidecisores</i>	92
3.2 MODELO DE OUTORGA	92
3.2.1 <i>Descrição do Modelo de Outorga</i>	94
3.2.2 <i>Dados do Modelo</i>	95
3.2.3 <i>Função Objetivo do Modelo</i>	95
3.2.4 <i>Restrições do Modelo</i>	96
3.2.5 <i>Fluxograma do Modelo de Outorga</i>	99
3.3 MODELO PROPOSTO DE COBRANÇA	100
CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	106
4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA	106
4.2 DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS ESTUDADOS	113
<i>Barragem de Acauã</i>	114
<i>Barragem de Epitácio Pessoa</i>	115
<i>Barragem de Poções</i>	115
<i>Barragem de Cordeiro</i>	115
<i>Barragem de Camalaú</i>	116

4.3 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PISF) – EIXO LESTE	116
CAPÍTULO V - METODOLOGIA	118
5.1 DETALHAMENTO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL.....	120
5.1.1 <i>Definição das alternativas, critérios e subcritérios</i>	120
5.1.2 <i>Pesos e funções de preferências</i>	125
5.1.3 <i>Participantes da pesquisa primária (decisores)</i>	127
5.2 APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE OUTORGA.....	128
5.2.1 <i>Dados de Entrada do Modelo de Outorga</i>	129
5.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA	132
5.4 CENÁRIOS ESTUDADOS	134
5.4.1 <i>Cenários para o Modelo de Outorga</i>	134
5.4.2 <i>Cenários para o Modelo de Cobrança</i>	136
CAPÍTULO VI - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	138
6.1 RESULTADOS DA APLICAÇÃO MÉTODO PROMETHEE	138
6.1.1 <i>Resultados por Decisor</i>	138
6.1.2 <i>Resultado Global</i>	147
6.1.3 <i>Ranking Global</i>	152
6.1.4 <i>Análise de Estabilidade do Método</i>	154
6.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO DE OUTORGA.....	157
6.2.1 <i>Reservatório Poções</i>	157
6.2.2 <i>Reservatório Cordeiro</i>	159
6.2.3 <i>Reservatório Camalaú</i>	162
6.2.4 <i>Reservatório Epitácio Pessoa</i>	165
6.2.5 <i>Reservatório Acauã</i>	179
6.3 RESULTADOS DOS MODELOS DE COBRANÇA	193
6.3.1 <i>Análise do Canário C1</i>	193
6.3.2 <i>Análise do Canário C2</i>	205
CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	207
7.1 CONCLUSÕES	207
7.2 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES	210
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	212
APÊNDICE.....	225
ANEXOS	229

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório é realizada a contextualização da pesquisa, com a apresentação dos objetivos e da justificativa, com foco na delimitação da problemática do estudo.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O gerenciamento dos recursos hídricos dentro de uma conjuntura do desenvolvimento sustentável é uma das premissas da Lei nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e que, por meio de seus instrumentos quando efetivamente implementados, promove uma gestão integrada dos aspectos quantitativos e qualitativos da água, visando garantir o atendimento às demandas, com a preservação do meio ambiente e promoção do desenvolvimento socioeconômico de uma região.

Apesar de vários esforços, muitas ações governamentais precisam ser realizadas para a efetiva implementação dos instrumentos de gestão, bem como promover a integração dos aspectos quantitativos e qualitativos da água de forma participativa e descentralizada, conforme os fundamentos da Lei (ALMEIDA *et al.*, 2012).

A outorga é um dos instrumentos de alocação da água por meio do qual o Poder Público, através de órgão com a devida competência, confere a terceiros a possibilidade de uso privativo de um recurso público. Segundo Ribeiro *et al.* (2014) este instrumento realiza um controle quantitativo e qualitativo da água, sendo essencial para evitar os conflitos entre os usos atuais e futuros. Outro aspecto importante é que a outorga é também condição necessária para que se possa implementar a cobrança pelo uso da água bruta, outro instrumento de gestão previsto na Lei Federal 9.433/97.

Por outro lado, Carolo (2007) ressalta que a cobrança pelo uso da água deve estar pautada nos moldes da outorga sustentável, para atingir a finalidade de racionalizar os usos da água, valorizar a água como bem econômico, assim como propiciar a ampla compreensão dos usuários da água de que é inaceitável o desperdício e o uso inadequado dos recursos disponíveis. O princípio da cobrança que a Lei 9.433/97 introduz é a de reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivando o

racionamento e obtendo recursos financeiros para o financiamento de programas e intervenções contemplados no Plano de Recursos Hídricos.

Silva (1998) destaca que os instrumentos de gestão visam promover a utilização racional dos recursos hídricos, de forma sustentável, assim como proporcionar mecanismos para a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos, sugerindo a utilização desses instrumentos em conjunto, dentro de uma visão integrada dos recursos em uma bacia hidrográfica. Neste sentido, faz-se importante analisar de forma integrada metodologias direcionadas aos instrumentos de outorga e cobrança, considerando que os princípios de um instrumento complementa a finalidade do outro, assegurando o controle quantitativo e qualitativo da água.

Dentre os métodos utilizados na implementação dos instrumentos, Pabón (2009), com respeito à aplicação da metodologia multiobjetivo e multicritério para auxílio do processo de outorga de recursos hídricos, vê a possibilidade de incluir aspectos econômicos, ambientais, técnicos e sociais, diferentes dos critérios hidrológicos normalmente utilizados, possibilitando definir uma política de outorga que seja capaz de considerar os conflitos que se podem apresentar, de se articular com políticas sociais na bacia, de permitir a expansão dos projetos de recursos hídricos além dos limites normalmente utilizados e de promover o uso mais racional da água.

Metodologias multicriteriais também têm sido utilizadas para análises do instrumento de cobrança. Fabretti *et. al.*(2011) concluíram que a aplicação de metodologia multicriterial possibilita tornar a cobrança pelo uso da água em um efetivo instrumento de gestão dos recursos hídricos, pois atribui benefícios econômicos aos sistemas que investem em tecnologia e no uso racional do recurso água.

Apesar dos avanços, existe uma necessidade de se aprofundar no desenvolvimento de uma metodologia que auxilie na integração dos instrumentos de outorga e cobrança para a gestão quali-quantitativa dos recursos hídricos da bacia, sob uma análise multicriterial e multiobjetivo que possa incorporar os critérios ambientais, sociais, além dos técnicos e econômicos definidos pelos atores envolvidos no processo. Dentro deste contexto, a presente pesquisa visa integrar as preferências dos tomadores de decisão identificadas por meio de modelo multicriterial ao modelo multiobjetivo de alocação de outorga, e por sua vez, para os volumes outorgados e as garantias obtidas serão aplicados um modelo de cobrança pelo uso da água, cujos critérios incorporam os diferentes perfis de usuários, de modo a promover a alocação eficiente da água.

A área definida para o desenvolvimento da pesquisa é a bacia hidrográfica do Rio Paraíba, a qual está inserida na região semiárida do Nordeste, com uma grande quantidade de reservatórios de pequeno porte susceptíveis as grandes taxas de evaporação e que não apresentam garantias hídricas para usos múltiplos, conforme diagnóstico levantado no Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESAs, 2006). O segundo maior reservatório do Estado, Epitácio Pessoa, com capacidade para acumular 411 milhões de metros cúbicos de água, localizado na referida bacia, apresentou situação de colapso em 1998, levando o abastecimento público de muitos municípios da bacia a entrar em racionamento. Situação essa, novamente ocorrida em 2015 e que permaneceu agravada em 2016.

Neste sentido, a bacia do Rio Paraíba é uma das que serão beneficiadas com as águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), o que implicará em mudanças socioeconômicas e de alocação do uso da água na mesma. O projeto, que tem por finalidade o abastecimento público e usos múltiplos, conforme Resolução da ANA nº 412/2005, poderá promover uma sinergia hídrica, dependendo da operação do sistema, aos reservatórios da bacia, diretamente beneficiados: Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa e Acauã, implicando em crescimento da demanda, diversidade de usos da água e prioridades.

Em consequência da implantação do PISF, mudanças deverão ocorrer na gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio Paraíba, considerando que uma das condicionantes para que o Estado se beneficie do projeto é a implementação da cobrança pelo uso da água como consta na Resolução ANA Nº 714/2009. No Estado da Paraíba, os valores a serem cobrados pelo uso da água já foram definidos e aprovados pelos respectivos Comitês das Bacias, bem como já foi sancionado o Decreto que implementa o instrumento no estado.

Diante do exposto, alguns questionamentos são levantados neste estudo:

- Como obter a hierarquização da priorização dos usos da água, considerando que nos planos de bacia e nas legislações de recursos hídricos do Estado está definida apenas, a priorização para o abastecimento humano e animal?
- As análises da concessão das outorgas são baseadas na disponibilidade inter e intra-anual e em prioridades?
- É justo cobrar o mesmo valor pelo volume outorgado entre usuários com garantias e racionalidade de usos diferentes?

A pesquisa a apresentada tem o intuito de responder esses questionamentos propondo a

integração de mecanismos para promover a alocação mais eficaz dos recursos hídricos da bacia do rio Paraíba.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para integrar os instrumentos de gestão de recursos hídricos, outorga e cobrança, como mecanismos para a alocação de água.

1.2.2 Objetivos Específicos

- 1 - Definir os diversos critérios sociais, econômicos, ambientais e técnicos, com base em uma análise sistêmica e multicriterial, que possam abstrair e resumir as características da bacia em estudo para se ter uma representação mais exata do problema estudado para promover uma alocação que atenda as prioridades e necessidades do local;
- 2 – averiguar o comportamento hídrico dos reservatórios selecionados da bacia em estudo em função das demandas;
- 3 – avaliar as prioridades de uso e garantias de atendimento às demandas requeridas;
- 4 – Comparar o processo de implementação da cobrança pelo uso da água e propor metodologia com mecanismos de incentivo ao uso racional e de melhorias da qualidade da água.

1.3 JUSTIFICATIVA

A operação de sistemas de recursos hídricos e o problema de alocação de água entre múltiplos usos têm adquirido uma grande importância, principalmente em regiões onde o desenvolvimento industrial, populacional ou agrícola ocasiona demandas de água presentes e futuras acima da capacidade natural de fornecimento (ZAHED, 1984). Em regiões como o Nordeste Brasileiro, esta situação é agravada pela variação climática, revestindo-se da maior importância a busca de uma eficiente operação dos sistemas de recursos hídricos, visando assegurar um manejo adequado dos mananciais (ALMEIDA, 2001; JENERETTE & LARSEN, 2006). Segundo Jenerette e Larsen (2006) são desafios para o gerenciamento dos

recursos hídricos as alterações de uso e ocupação do solo, as mudanças globais e o rápido crescimento populacional.

No Estado da Paraíba, de um modo geral, as disponibilidades dos reservatórios não são suficientes para atender aos diferentes usos, bem como as perspectivas de crescimento das demandas referentes à agroindústria (CARVALHO, 2013). A bacia hidrográfica do rio Paraíba que concentra 52% da população do Estado, apresenta ainda problemas de qualidade de água e vem sendo palco de conflitos setoriais pela água disponível, sobretudo nos principais açudes públicos construídos nesta bacia.

No ano de 2015, devido ao problema de escassez de chuvas na bacia, o órgão gestor de recursos hídricos do Estado suspendeu a irrigação e a piscicultura no reservatório Acauã, comprometendo as atividades em nove municípios abastecidos pelo reservatório. Situação ainda mais crítica encontra-se o reservatório Epitácio Pessoa. A primeira crise hídrica enfrentada pelo reservatório foi no período de 1998 a 2002 e se repetiu no período de 2014 a 2016, chegando no final do ano a 5% de sua capacidade de armazenamento, conforme registros do órgão gestor. A atividade da irrigação também foi suspensa e o abastecimento público de 25 municípios por ele atendidos enfrenta racionamento de água desde o início de 2014, agravado em 2016.

Contudo, segundo Carvalho (2013), existe a possibilidade de aumento do aporte hídrico à bacia hidrográfica do rio Paraíba, com a conclusão do Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco (PISF), eixo leste, destinado a atender ao abastecimento humano. Como consequência, devido a sinergia hídrica que será promovida aos reservatórios receptores do PISF, haverá mudanças na diversidade dos usos e de suas prioridades que deverão ser incorporadas na gestão dos recursos hídricos da bacia, em particular na alocação do uso da água.

Pelo exposto, fica evidenciado que o aprimoramento do gerenciamento dos recursos hídricos da bacia deve ser priorizado para se promover uma alocação mais eficaz.

Um dos destaques, dentro desses desafios é a necessidade de se promover avanços no emprego de mecanismos de alocação de água, como os instrumentos de outorga e cobrança associado a uma análise multicriterial e multidecisor entendendo-se, conforme Baltar *et al* (2003), que a definição dos critérios a serem adotados na alocação de água deve alcançar objetivos pactuados entre todos os atores envolvidos.

A contribuição desta pesquisa está em propor uma metodologia de utilização integrada de ferramentas matemático-computacionais voltados para outorga, cobrança e análises multiobjetivo, multicriterial e multidecisores, com o objetivo de otimizar aspectos da alocação

espaço-temporal da oferta qualiquantitativa da água às suas demandas. A escolha da metodologia deverá privilegiar a otimização de aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais característicos do sistema, assim como induzir à minimização de conflitos e ao uso racional da água.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão teórica dos aspectos relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos e aos instrumentos de gestão, com seus fundamentos legais e critérios. Ainda foi abordada a temática da análise multicriterial inerente ao desenvolvimento da pesquisa.

2.1 ASPECTOS DO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Em relação aos modelos de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, Lanna (1994) observa que a partir do século XIX, vigorou o modelo burocrático de gestão das águas, que tem como principais características a racionalidade e a hierarquização das ações, além da concentração do poder nas mãos de entidades públicas. Um marco da adoção deste modelo, no Brasil, foi a promulgação do Código das Águas, em 1934, fazendo com que o desenvolvimento do potencial hidrelétrico dominasse a política de águas no país, com predominância federal para a concessão dos aproveitamentos hidrelétricos e dos serviços de distribuição de energia elétrica.

Em seguida, prevaleceu o modelo econômico-financeiro, caracterizado pela aplicação de instrumentos econômicos e financeiros por entidades privilegiadas, como autarquias e empresas públicas, cujo marco foi a criação da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), em 1948. Neste período, prevaleceram os programas de investimentos em setores usuários dos recursos hídricos, não havendo muita preocupação com os problemas ambientais envolvendo a água (LANNA, 1994).

Contudo, na década de 80, a crise econômica abalou a estrutura da gestão de recursos hídricos, com tendência centralizadora, setorial e dependente de recursos orçamentários (POMPERMAYER, 2003). Campos (2008) destaca que embora a partir de 1980 os discursos apontavam para a adoção de um modelo descentralizado e participativo, na prática, os setores tecnoburocráticos no Brasil buscavam uma estrutura desconcentrada, coordenada por um órgão centralizado no nível federal, o qual contaria com a participação dos usuários. Porém, devido à pressão realizada por alguns segmentos e às discussões efetuadas, o modelo de gestão resultou ser bem mais descentralizado.

Ultimamente tem sido amplamente adotado o modelo de gerenciamento sistêmico

participativo, que adota um processo de negociação social, sustentado por conhecimentos científicos e tecnológicos, objetivando compatibilizar as demandas e o desenvolvimento da sociedade com o uso sustentável do meio ambiente (LANNA, 1995).

Para Limeira (2008): “a maioria dos problemas da gestão da água tem sido historicamente solucionada com o aumento de infraestrutura para a sua oferta. Hoje, no entanto, as oportunidades para esse aumento têm sido limitadas, e uma nova perspectiva tem se dirigido para o aperfeiçoamento da gestão e alocação desse recurso”.

O marco legal desse processo no Brasil foi a Lei nº 9.433, sancionada em 1997, que definiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Segundo Tundisi (2003), a partir da criação da Lei, o país passou a dispor de um instrumento legal que, se efetivamente implementado, garantirá às gerações futuras a disponibilidade de água em condições adequadas.

A referida Lei foi instituída com o objetivo de garantir o desenvolvimento humano, econômico e social, originada de intensos debates e de uma mudança profunda de valores e concepções sustentáveis, o que diferenciou do modelo anterior, o qual apresentava uma lacuna quanto ao aproveitamento racional dos recursos hídricos (DEMOLINER, 2008). Os fundamentos estabelecidos na Lei nº 9.433/1997, em seu artigo 1º, estão baseados nos princípios expressos nas declarações internacionais sobre a água, como a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin, em 1992, e a Eco 92, sediada no Rio de Janeiro.

Além da gestão descentralizada, são fundamentos da Lei nº 9.433/1997: a gestão dos recursos hídricos de forma a proporcionar o uso múltiplo das águas, a bacia hidrográfica como unidade territorial básica para a implementação da Política e atuação do SNGRH, e a água como bem de domínio público, dotado de valor econômico.

Os órgãos que integram o SNGRH são: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados (CERH's) e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH's); os órgãos dos poderes públicos federal, estadual e municipal cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e as Agências de Água.

Campos e Studart (2003) afirmam que a legislação sobre águas, no ordenamento jurídico brasileiro, é das mais complexas e apesar das dificuldades, o Brasil tem instituições atuantes sob a coordenação de uma agência reguladora, a ANA (Agência Nacional de Água), órgãos colegiados em nível de Ministério do Meio Ambiente e, em nível local, os CBH's, com competência reguladora e participação popular como princípio de gestão.

Os comitês podem ser organizados em bacias, sub-bacia hidrográfica de tributário do curso de água principal da bacia, ou grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, de acordo com o art. 37 da Lei das Águas. A instituição de CBH em rios de domínio da União são efetivada por ato do Presidente da República (parágrafo único do art. 37 da Lei das Águas).

A criação de comitês de bacia representa um significativo marco para o exercício de uma gestão descentralizada dos recursos hídricos, pois propõem uma estrutura inovadora na realidade institucional brasileira, sendo constituídos por representantes dos usuários de água, entidades civis e pelo poder público (federal, estadual e municipal). A composição dos comitês sob jurisdição federal foi definida pela Resolução n.º 5 do CNRH da seguinte maneira: membros dos Poderes Executivos da União, Estados, Distrito Federal e Municípios – máximo de 40%; usuários de água – máximo de 40% e sociedade civil – mínimo de 20%. Os comitês estaduais seguem as regras específicas das legislações estaduais.

Conforme Carrera e Garrido (2002) a gestão descentralizada e participativa tem como vantagem reduzir a quantidade de decisões que são levadas a uma instância superior, possibilitando aos escalões mais elevados planejar melhor a tomada de decisão.

A gestão descentralizada, na prática, sugere alguns questionamentos a respeito da consolidação dos comitês para tomar decisões, principalmente sobre temas relevantes. Complementando esta análise, Abers e Jorge (2005) destacam que, a despeito dos argumentos favoráveis à descentralização, existem duas situações em que a descentralização é prejudicada: “[...] quando instituições locais não têm capacidade técnica ou administrativa para deliberar ou executar efetivamente, aspectos relativos a gestão das águas ou quando os interesses políticos locais são caracterizados por clientelismo, corrupção ou outros padrões que fazem com que as decisões políticas não sigam as prioridades técnicas.”

Contudo, há uma grande unanimidade sobre as instituições de comitês de bacia hidrográfica, como espaço administrativo capaz de propiciar as necessárias condições de governabilidade e de governança. Na literatura, governabilidade seria a construção de políticas públicas, baseadas nas necessidades e anseios sociais e governança, a capacidade de ação que o Estado possui para implementação das políticas públicas e no alcance dos objetivos coletivos.

Os comitês de bacias hidrográficas constituem-se no fórum de decisão dos assuntos relacionados à água, onde as ações a serem tomadas na bacia hidrográfica devem ser amplamente discutidas com os diversos setores da sociedade. Possuem poder deliberativo e tem como competências, no âmbito de sua área de atuação, aprovar o Plano de Recursos

Hídricos da Bacia, arbitrar em primeira instância conflitos pelo uso da água, estabelecer mecanismos de cobrança e sugerir valores a serem cobrados, estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo. Além disso, ressalta-se o papel decisório dos comitês de bacias na implantação de instrumentos de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Os instrumentos que a Lei 9.433/97 definiu como necessários para o gerenciamento de recursos hídricos são: (i) Plano Nacional de Recursos Hídricos - definidos no âmbito de comitês de bacia hidrográfica, constituem bons exemplos dos processos de negociação social; (ii) Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos - instrumento de disciplinamento pelo qual o usuário recebe uma autorização, concessão ou permissão, conforme o caso, para fazer uso da água. (iii) Cobrança pelo uso da água - instrumento necessário para o equilíbrio entre a oferta e a demanda; (iv) Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso - mecanismo necessário à manutenção de um sistema de vigilância sobre a qualidade da água; (v) Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – instrumento de apoio, responsável pela coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre Recursos Hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. (Brasil, 1997, PORTO E PORTO, 2008).

Os comitês têm uma participação importante na implantação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, esbarrando, em alguns momentos, em entraves de natureza econômica, financeira e político-institucional, agravada pela deficiência de informações atualizadas (POMPERMAYER, 2003). Nesse contexto, é notória a necessidade do uso de ferramentas e métodos para auxiliar o processo de tomada de decisão em gerenciamento de recursos hídricos, no âmbito dos comitês de bacia, o qual será objeto de estudo explorado ainda neste capítulo.

Silva (1998) destaca que os instrumentos de gestão visam promover a utilização racional dos recursos hídricos, de forma sustentável, assim como proporcionar mecanismos para a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos, sugerindo a utilização desses instrumentos em conjunto, dentro de uma visão integrada dos recursos em uma bacia hidrográfica.

Garrido (2003) cita a importância dos instrumentos, outorga e cobrança, pelo fato de considerá-los os principais indutores do uso racional da água. O primeiro por combater a ocorrência de conflitos e, o segundo, por evitar, tanto quanto possível, as deseconomias no uso dos recursos hídricos.

Os instrumentos da outorga e cobrança serão os assuntos abordados a seguir.

2.2 OUTORGA DE DIREITO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Dentro do contexto a ser abordado neste item do referencial teórico, torna-se importante definir os termos outorga e alocação de recursos hídricos, visto que, em diversas ocasiões, os termos vêm sendo apresentados como sinônimos.

Na literatura, o termo alocação é mais utilizado quando se trata de dividir uma determinada quantidade de água disponível, entre países, regiões ou diferentes setores de usuários. O termo outorga, na legislação brasileira, caracteriza a transferência do bem, normalmente público, a um determinado usuário, individual ou coletivo (SANTOS, 2010). Ainda conforme autor: “alocar é promover o planejamento do uso da água e outorgar é transferir o seu uso para determinado agente público ou privado, considerado usuário”.

A alocação de água em uma bacia hidrográfica é um dos aspectos importantes no gerenciamento dos recursos hídricos para que se possam compatibilizar as disponibilidades hídricas da bacia aos usos da água em seus diversos setores econômicos. Entretanto, a incerteza quanto a disponibilidade de água de uma localidade, associada a escassez hídrica são uns dos motivos mais comuns para o surgimento de conflitos entre os usuários, na repartição das águas e na defesa de interesses.

Além do aspecto quantitativo, Lanna (2003) ressalta que a escassez qualitativa ocorre exatamente nos locais onde existe maior concentração de demandas hídricas, pois os efluentes originados pelos diversos usos comprometem a qualidade das águas dos mananciais.

Neste sentido, Wang (2005) defende que os princípios da equidade, eficiência e sustentabilidade devem reger o principal objetivo da alocação de água que é maximizar os benefícios da água para a sociedade, atendendo aos aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Para o autor o princípio da equidade, o qual significa repartir de forma equitativa os recursos hídricos da bacia hidrográfica, deve ser aplicado não só para usuários atuais, mas também para os usuários potenciais e futuros, estabelecendo-se, previamente as regras ou processos de alocação de água, em especial em situações de escassez.

A eficiência pode ser entendida como o atendimento às demandas, fazendo-se o uso econômico dos recursos hídricos, o uso financeiramente sustentável dos recursos hídricos e a justa compensação pela transferência de água em todos os níveis. Para Dinar *et al.* (1997), o benefício de usar uma unidade adicional de água em um setor deve ser igual àquele em qualquer outro setor.

Para Loucks (1997) um sistema de recursos hídricos sustentável é aquele desenvolvido

e gerenciado para atender aos objetivos da sociedade agora e no futuro, mantendo sua integridade ecológica, ambiental e hidrológica. Savenije e Van der Zaag (2000) defendem que a utilização dos recursos hídricos deve ser expandida, até que permita a utilização desses recursos no futuro.

Sachs (1993), ressalva que ainda não há um conceito definido para o desenvolvimento sustentável, e este vem sendo continuamente aprimorado, permitindo uma maior compreensão das complexas relações entre a humanidade e a biosfera. Contudo, o autor afirma que desenvolvimento e meio ambiente estão indissolavelmente vinculados, e que para o desenvolvimento de uma nação ser sustentável deve atender, ao mesmo tempo, três critérios: eficiência econômica, prudência ecológica e equidade social.

Quanto aos mecanismos de alocação de água, segundo Dinar (2007) os classificados da seguinte forma: precificação baseada no custo marginal, para o qual o preço da água é igual ao custo marginal de suprimento da última unidade de água; alocação de água por uma instituição pública, onde a alocação é feita por agentes públicos e permite perseguir objetivos equitativos; alocação baseada nos usuários que envolve ação coletiva das instituições com autoridade sobre a alocação de água; e, mercados de água, que podem ser definidos como instituições que facilitam a transação dos direitos à água.

Este último mecanismo tem por objetivo realocar água de usos com menor capacidade de pagamento para usos com maior capacidade de pagamento por curtos prazos, em períodos de escassez, ou por longo prazo (SOUZA FILHO *et al*, 2008). Os autores ainda afirmam que o mercado de água necessita de uma organização central para que haja uma alocação eficiente, que possibilite a comunicação entre os participantes do mercado: os vendedores e compradores. Costa *et al* (2002) complementa que “o preço pago pelo comprador tem um valor máximo, o qual ele está disposto a pagar, enquanto que o preço aceito pelo vendedor tem um valor mínimo, o qual ele está disposto a vender”.

O mercado de água tem sido aplicado em várias partes do mundo, como no Chile, na Austrália e no Oeste dos Estados Unidos. Souza Filho e Porto (2008) citam ainda exemplos de alocação de água adotados no “Northern Colorado” e no Estado de “New South Wales”, na Austrália, com critérios técnicos e sociopolíticos, onde existe a necessidade de prova técnica de que o recurso hídrico está sendo utilizado para gerar benefícios sociais.

Contudo, os estudos desenvolvidos por Souza Filho e Porto (2008) mostraram que sem uma presença efetiva do Estado o mercado de água será ineficiente. O Estado apresenta-se como garantidor das trocas de mercado e que este somente será eficiente se houver elevada eficiência da fiscalização para desencorajar o usuário infrator.

Os órgãos gestores de recursos hídricos brasileiros, de um modo geral, adotam o modelo de alocação de água fundamentado na Lei Nacional 9.433, também conhecida como “Lei das Águas” (Brasil, 1997). Com isso, os procedimentos de alocação de água para fins de outorga têm se baseado na definição de vazões mínimas de referência e no estabelecimento de limites de utilização dessas vazões por usos da água, objeto de autorizações pelo poder público.

A escolha do mecanismo mais adequado para cada região e para cada situação depende de uma avaliação das vantagens e desvantagens de cada mecanismo visando o uso sustentável dos recursos hídricos. No entanto, em quaisquer processos de alocação faz-se necessário o controle dos mesmos através da outorga.

A outorga de direito de uso da água é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos que tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a este recurso, disciplinando a sua utilização e compatibilizando demanda e disponibilidade hídrica.

Porto e Porto (2008) destacam o poder disciplinador que a outorga representa para o poder público em fazer valer a equidade entre os usuários de água. Os autores ainda afirmam: “[...] a outorga pode ser também utilizada como um instrumento de implantação de sistemas de gestão de demanda e uso racional da água, além de permitir que se faça o disciplinamento do tipo de atividade a ser implantada na bacia e, portanto, também auxiliar na gestão territorial”.

Entretanto, Azevedo *et al.* (2003) advertem que a outorga não é um instrumento de fácil implementação e administração, atribuindo a essa complexidade, a própria natureza dos recursos hídricos, com seus usos e atributos múltiplos em um quadro de ocorrência estocástica e demandas crescentes. Além disso, há uma grande diversidade de atores envolvidos, desde os órgãos públicos gestores, entidades da sociedade civil até os usuários finais da água, e de interesses conflitantes, no contexto do gerenciamento do instrumento da outorga.

Neste sentido, conforme afirmam Porto *et al* (2003): “as decisões tomadas quanto à outorga de direitos de uso da água determinam o seu padrão de uso e sua alocação setorial, tendo, assim, consequências ambientais, sociais e econômicas que precisam ser cuidadosamente avaliadas antes que as decisões sejam tomadas.”

2.2.1 Doutrinas da Outorga

Os direitos de uso da água se dividem, basicamente, em três formas, as quais são

chamadas de doutrinas: a outorga ripária, a outorga comercializável, e a outorga controlada.

Na doutrina ripária, conhecida como outorga vinculada a terra, a água tem características de um bem privado (RIBEIRO e LANNA, 2001). Adotada na região leste americana, é a doutrina das apropriações ribeirinhas (Riparian) onde os direitos de uso das águas são inerentes à propriedade da terra ribeirinha. Pires (1996) reforça conceituando a Outorga Vinculada a Terra como a outorga que é informal e livremente concedida aos proprietários de terras cujos recursos hídricos nela se encontrem. Trata-se de um sistema cujo bom funcionamento se dará em bacias onde não há problemas de escassez quantitativa ou qualitativa. Souza Filho e Porto (2008) acrescentam que os Estados Unidos têm duas doutrinas principais de direito da água a Riparian (ou doutrina dos direitos ribeirinhos) e a Prior Appropriation. Na doutrina do Prior Appropriation, controla a hierarquia das prioridades, onde o primeiro usuário (o mais antigo) tem prioridade maior que o mais jovem.

A outorga comercializável, presente no Chile, Austrália e parte dos Estados Unidos, é outro instrumento de gestão de recursos hídricos onde a água torna-se um bem valorável, podendo ser leiloada, alugada, vendida, ou trocada de acordo com as leis de mercado de procura e oferta. O mercado de água é regido pela lei da procura e oferta (KEMPER e CESTTI, 1995 *apud* PIRES, 1996). Apesar de sua eficácia econômica, induzindo a redução de desperdícios e promovendo o uso racional desses mananciais, esse sistema não trata o recurso de forma integrada, com obediência de prioridades de uso.

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, onde o poder público é o responsável pela emissão e controle das outorgas. Segundo Ribeiro e Lanna (2001), o sistema de outorga estabelece os usos prioritários, as vazões máximas outorgáveis, a vigência da outorga e de um modo geral, o poder público concede ao usuário o direito de uso da água, mas não o direito de ser proprietário da mesma.

No Brasil, adotou-se a outorga do tipo controlada ou administrativa. É um tipo de outorga mais amplo que as demais, na medida em que traz a possibilidade de contemplar questões ambientais e sociais, combatendo a escassez e possibilitando o acesso de usuários de baixa renda.

A outorga do uso da água é um instrumento essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos, que quando bem integrado seus aspectos técnicos, legais e econômicos, colaboram para o sucesso da implementação de um sistema racionalizado de uso dos mananciais.

2.2.2 Aspectos Legais da Outorga

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

No Quadro 2.1 estão apresentadas algumas observações sobre diversos artigos que detalham o instrumento outorga da mencionada Lei.

O Art. 11 estabelece que o regime de outorga tenha como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Para tanto, é importante o conhecimento dos impactos quali-quantitativos de cada usuário e, principalmente, a sistematização da avaliação cumulativa desses impactos sobre o corpo de água.

Pelo Art. 12 os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga são: captação de água, lançamento de efluentes e outros usos que alterem o regime, a qualidade ou a quantidade do corpo hídrico; o uso para fins de aproveitamento de potenciais hidrelétricos e a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo. Dentro deste contexto, os serviços e as travessias, por não se constituírem usos da água, propriamente, devem ser objeto de análises que avaliem as possíveis interferências no regime, qualidade ou quantidade das águas. O Art. 12, §1º, estabelece que algumas formas de uso da água podem ser consideradas insignificantes, e com isso, a obrigatoriedade da outorga. Contudo, os usos insignificantes devem ser computados nos balanços quali-quantitativos, pois um conjunto de usos insignificantes pode tornar-se significativo.

O artigo 13 submete a outorga ao estabelecido pelo enquadramento dos corpos d'água. Segundo Ribeiro e Lanna (2001): “a análise conjunta dos artigos 11, 12, e 13 mostra que o instrumento de outorga deve considerar os aspectos de qualidade (do lançamento e do corpo receptor) e quantidade de água e, não apenas desse último”.

Artigo 11	
Objetivos do regime da Outorga	Assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água
Artigo 12	
Usos sujeitos à outorga	I – derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, incluindo abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; II – extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; III – lançamentos 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;
§ 1º - 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.
Artigo 13	
Condição da outorga	A outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando necessário. A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo destes.
Artigo 14	
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.
Artigo 15	
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.
Artigo 16	
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.
Artigo 18	
Alienação das águas	A outorga não implica a alienação de uso parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso.

Quadro 2.1 - Considerações apresentadas pela Lei 9.433 sobre outorga de uso da água.

Fonte: Rodrigues (2007), adaptado pela autora.

Pelo Art. 14, §1º, a delegação pressupõe confiança, por parte da União, representada atualmente pela ANA – Agência Nacional de Águas, nos procedimentos técnicos e administrativos adotados pelos estados ou Distrito Federal, contudo a responsabilidade pela outorga de uso dos recursos hídricos de domínio da União, permanece com o poder executivo

Federal. A delegação é apenas da competência para emitir a outorga.

As circunstâncias que levam à suspensão de outorga, incluindo situações de emergência como situação de calamidade e reversão de degradação ambiental grave, são descritas no Artigo 15. O Artigo 16 da referida Lei estipula um prazo de duração para a outorga concedida.

O artigo 18 estabelece que a outorga não transfere o direito de propriedade da água da União/Estado para o interessado, mas apenas o direito de seu uso. Isto porque, as águas são públicas e inalienáveis no Brasil (RIBEIRO E LANNA, 2001).

No que diz respeito à outorga, a Resolução que regulamenta a Lei n.º 9.433/97, é a Resolução n.º 16, aprovada pelo CNRH, em maio de 2001, a qual apresentou avanços importantes, tornando o processo mais transparente e ágil.

Como já citado anteriormente, a entidade federal responsável por outorgar o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União é a ANA, criada pela Lei no 9.984/00, com competência para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A ANA poderá emitir outorgas preventivas a fim de declarar a disponibilidade de água para os usos requeridos, e dará publicidade aos pedidos de outorga através de publicação na imprensa oficial.

2.2.3 A Outorga no Estado da Paraíba

A Lei Estadual nº 6.308/97

A Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, institui a política de recursos hídricos do Estado da Paraíba, visando assegurar o uso integrado e racional destes recursos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do estado.

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.

O capítulo II refere-se ao Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, que tem por finalidade a execução da Política Estadual de Recursos Hídricos e a formulação, atualização e aplicação do Plano Estadual de Recursos Hídricos. O sistema é constituído pelos seguintes órgãos (Art. 6):

I– Órgão de Coordenação: Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA;

II – Órgão Deliberativo e Normativo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH;

III – Órgão Gestor: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA;

IV – Órgãos de Gestão Participativa e Descentralizada: Comitês de Bacia Hidrográfica - CBH.

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 Rateio dos custos das obras de uso múltiplo (Artigo 21).

O Decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997 regulamenta a Lei nº 6.308, legalizando a outorga de direito de uso dos recursos hídricos no âmbito de suas bacias estaduais.

O Decreto Estadual nº 19.260

O Artigo 6º do Decreto nº 19.260, que regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos estabelece 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 Capítulo V desse Decreto dispõe sobre os critérios de quantificação para a outorga apresentando artigos referentes ao tema como: o conceito de vazão disponível para cálculo da disponibilidade (por quilômetro de leito regularizável de curso d'água) será em função do porte do açude (artigo 24); a soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia, não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia (artigo 26); a base quantitativa para a outorga do direito de uso sobre águas subterrâneas será considerada a partir de 2.000 l/h (artigo 27).

No Quadro 2.2 estão apresentados alguns artigos do Decreto nº 19.260 que tratam do instrumento da outorga.

Uma diferença entre a legislação estadual e a legislação federal é de que na lei paraibana, a gestão dos recursos hídricos deve ser participativa e integrada, enquanto que na legislação federal um dos seus fundamentos é que a gestão deve ser participativa e

descentralizada. No contexto paraibano, o termo integrada está relacionada aos aspectos de quantidade e qualidade dos recursos hídricos e às diferentes fases do ciclo hidrológico.

Artigo 6	
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;
Artigo 7	
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).
Artigo 8	
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
Artigo 12	
Prioridade de uso para outorga	I – abastecimento doméstico
	II – abastecimento coletivo especial, compreendendo hospitais, quartéis, presídios, colégios, etc.
	III – outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial (entidades públicas, do comércio e da indústria, ligados à rede urbana);
	IV – o uso da água, mediante captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços
	V – o uso da água, mediante captação direta ou por infraestrutura de abastecimento para fins agrícolas, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, etc.
	VI – outros usos permitidos pela legislação em vigor
Artigo 17	
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.
Artigo 18	
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.
Artigo 26	
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)
Artigo 27	
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.

Quadro 2.2 - Considerações apresentadas no Decreto 19.260/97

Fonte: Rodrigues, 2007

Contudo, diferente da legislação federal, a legislação da Paraíba não considera como um dos seus instrumentos de gestão o enquadramento dos corpos de água em classes de usos preponderantes, apesar de que esta faz parte dos elementos necessários para composição do plano estadual de recursos hídricos e dos critérios para cobrança pelo uso da água (COSTA *et al.*, 2008).

Ainda sobre o aspecto qualitativo, as práticas adotadas nos estados brasileiros para determinação da outorga das águas geralmente não estão associadas aos aspectos ecológicos e no estado da Paraíba esta situação não é diferente, já que o Decreto n° 19.260 não aborda critérios específicos para definição de vazão ecológica ou vazão mínima a jusante de barramentos, com o objetivo de resguardar os usos ecossistêmicos e ambientais.

Em se tratando de água subterrânea, a disponibilidade hídrica será entendida em função das características hidrogeológicas do local ou da bacia sobre a qual incide a outorga, observando ainda a vazão nominal de teste do poço, ou a capacidade de recarga do aquífero.

Quanto às modalidades da outorga no Estado da Paraíba, o Decreto n. 19260/97, define os seguintes: a cessão de uso, a autorização de uso e a concessão de uso. A cessão de uso é conferida a órgão ou entidade pública, a título gratuito ou oneroso, enquanto que a autorização de uso confere a particular, pessoa física ou jurídica o direito de uso das águas, em condições explícitas, em caráter unilateral precário. Já a concessão de uso, consiste na outorga de caráter contratual, permanente e privativo, de uma parcela de recursos hídricos, por pessoa física ou jurídica, que dela faça uso.

O órgão responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do Estado da Paraíba é a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, criada pela lei n° 7.779 de 07 de julho de 2005. Neste sentido, a AESA é órgão estadual responsável por instruir processos sobre a licença de obras hídricas e de outorga de direito de uso dos recursos hídricos em corpos hídricos de domínio do Estado, conforme a legislação vigente. O processo de outorga de direito de uso das águas é atualmente uma ação conjunta entre a AESA, que faz a análise técnica dos processos, e a Secretaria dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SERHMACT) que os homologa através da assinatura e publicação da outorga.

2.2.4 Critérios de Outorga

As formas de se alocar quantitativamente a água entre os usuários podem ser separadas em, pelo menos, dois grupos: vazão referencial e quantidade de falhas pré-determinadas.

No critério da vazão referencial são estabelecidos percentuais de uma vazão pré-fixada, obtida através de séries históricas, para serem disponibilizados para outorga. Desta forma, a vazão de referência é considerada a vazão máxima outorgável sazonalmente.

A vantagem de se usar esse critério é que se obtêm maiores garantias de que não ocorrerão falhas, pois a vazão de referência mais utilizada é uma vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial. A partir dessa condição crítica é que são realizados os cálculos de alocação da água, de forma que, quando da ocorrência da situação de escassez, os usuários podem manter a operação dos usos outorgados. Exemplos de vazão de referência são: a $Q_{7,10}$, vazão mínima de sete dias de duração com dez anos de recorrência; Q_{90} e Q_{95} , vazões cujas probabilidades de superação são respectivamente de 90% e 95%; e a Q_{R90} , vazão regularizada com 90% de garantia para bacias controladas por reservatórios.

Por outro lado, a desvantagem do critério da vazão referencial é que tendem a limitar o crescimento dos sistemas de uso da água, pois, em grande parte do tempo, as vazões ocorridas superam a vazão de referência.

Segundo Santos (2010): “o modelo de alocação de água amplamente adotado no Brasil tem, como padrão, a manutenção de uma vazão mínima no corpo hídrico, sem preocupação quanto aos prejuízos de montante ou quanto à possibilidade de uso de parte da água excedente”.

Para Lanna *et al.* (1997), a única justificativa para adotar como vazão de referência, uma vazão de estiagem, seria a excessiva preocupação dos órgãos gestores em proporcionar garantia de atendimento às outorgas concedidas.

Uma alternativa para a situação acima descrita seria outorgar as vazões excedentes, associadas a garantias de ocorrência. Este tipo de outorga adota o critério da quantidade de falhas pré-determinadas (neste caso, ao invés de fixar uma vazão de referência, é fixada a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade).

O interessante seria, além de associar uma garantia de atendimento à vazão, estabelecer um esquema de racionamento de uso da água. No racionamento deverá estar definido, por exemplo, que as atividades que fazem uso dessas vazões excedentes devem reduzir ou interromper as suas captações sempre que o manancial estiver abaixo de um determinado patamar, até que sejam restabelecidas as vazões ou níveis de água normais. Porém, essa metodologia necessita de um número maior de informações, requer alta complexidade de processamento e o conseqüente alto custo operacional.

Outro aspecto importante a ser considerado no planejamento da outorga é a grande

variabilidade intra-anual das disponibilidades hídricas, o que implica em buscar utilizar valores de referência mensais (CRUZ e TUCCI, 2005). Para Cruz, (2001), existe a ideia de considerar o aspecto da sazonalidade do regime hidrológico, com base na variabilidade intra-anual, através da estimativa de uma curva de permanência para cada mês do ano, de forma a quantificar valores de disponibilidade para cada mês, o que caracterizaria a chamada vazão de outorga sazonal. A vantagem dessa metodologia está na possibilidade de outorgar maiores valores em épocas mais úmidas. Cruz cita estudos de Kelman (1997), Silveira *et al.* (1998) e Ribeiro (2000), referentes a critérios de outorga, onde defendem que a estratégia da sazonalidade resulta em melhores alocações do que quando se utiliza de um único valor de referência anual.

Silva *et al.* (2015), em um estudo sobre a influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga, concluíram que adotando o comportamento hídrico sazonal é possível flexibilizar as vazões outorgáveis em determinados períodos do ano

Curi *et al.* (2011), desenvolveram um modelo de otimização que permite a inclusão de demandas de água variáveis no tempo adequando à disponibilidade local de acordo com sua dinâmica temporal, possibilitando ainda a análise de pedidos de outorga na forma incremental, fornecendo a confiabilidade de atendimento, sem comprometer as outorgas já concedidas.

Em função de condições específicas regionais, a concepção do sistema de outorga tem sido bastante diversificada nos vários estados do Brasil. Os critérios estaduais de outorga baseados na vazão de referência estão mostrados na Tabela 2.1.

As outorgas em bacias de domínio da União, conforme o artigo 13 da Lei n. 9433/97 (Brasil, 1997), estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando necessário. A vazão máxima outorgável é 70% de Q_{95} , podendo variar de acordo com as peculiaridades de cada região.

Em relação ao estado da Paraíba, o Decreto nº. 19.260/97 estabelece os seguintes condicionantes para a outorga: disponibilidade hídrica; prioridades de uso; comprovação de que o uso de água não cause poluição ou desperdício dos recursos hídricos; volume máximo outorgável não superior a 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia. Contudo, o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH/PB (AESAs, 2006) não define os critérios e regras de alocação de água entre os diversos usuários, bem como não estabelece as diretrizes, critérios e prioridades para a concessão das outorgas de direitos de

uso de recursos hídricos, nas diferentes bacias hidrográficas do estado (VIEIRA e RIBEIRO, 2007).

Tabela 2.1 - Critérios de outorga adotados nos estados brasileiros

UF	Limite máximo outorgável	Legislação
Alagoas	90% da $Q_{90\%}$	Decreto n.º. 06/01
Bahia	80% da $Q_{90\%}$ diário se não há barramento; 80% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais perenes; 95% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais intermitentes ou com fins ao abastecimento humano; Máximo de 20% da vazão referencial para cada usuário individual.	Decreto n.º. 6.296/97
Ceará	90% da $Q_{90\%}$ regularizada quando há barramento 33% da $Q_{90\%}$ regularizada em lagoas ou lagoas	Decreto n.º. 23.067/94
Distrito Federal	80% da ($Q_{90\%}$ ou $Q_{7,10}$ ou Q_{ml})	Decreto n.º. 22.359/01
Goiás	70% da $Q_{95\%}$	Resolução SEMARH n.º 09/2004
Mato Grosso	20% da $Q_{7,10}$ para irrigação	Resolução CERH n.º. 03/03
Minas Gerais	30% da $Q_{7,10}$	Portaria IGAM n.º. 10/98
Paraíba	90% da $Q_{90\%}$ regularizada anual	Decreto n.º. 19.260/97
Paraná	50% da $Q_{95\%}$	Decreto n.º. 4.646/2001
Rio de Janeiro	50% da $Q_{7,10}$	Portaria SERLA n.º. 307/02
Rio Grande do Norte	90% da $Q_{90\%}$	Decretos n.º. 13.283/97 e 13.284/97
Rondônia	30% da $Q_{7,10}$	Não há legislação específica
São Paulo	50% da $Q_{7,10}$	Lei n.º. 9.034/94
Sergipe	90% de $Q_{90\%}$; Máximo de 30% da $Q_{90\%}$ para cada usuário individual.	Resolução CONERH n.º. 01/2001

Fontes: Lima *et al.* (2005); Mendes (2007) *Apud* Costa (2009)

Conforme Santos e Cunha (2013), cada estado regulamenta a outorga individualmente, utilizando sempre os mesmos critérios hidrológico-estatísticos, desprezando variáveis referentes às características sociais, econômicas e ecossistêmicas da utilização da água, conforme observado na Tabela 2.1.

Os autores ainda ressaltam que a regulamentação da outorga por estados vai de encontro a situações em que a bacia hidrográfica se encontra nas fronteiras ou dentro de vários estados, submetendo-se à regulamentação federal, executada pela ANA, que por sua vez utiliza o mesmo critério para rios localizados em diferentes regiões do país. Ou seja, possibilita a existência de variadas metodologias para a concessão da outorga em uma mesma bacia, cujas águas são de domínio da união e do estado.

Para Rodrigues (2007), cada sistema possui suas próprias características, portanto, não

existindo ainda, uma metodologia única que possa ser utilizada em todos os sistemas hídricos, pois a escolha da metodologia depende, entre outros fatores, das características da região, sejam elas físicas, econômicas ou sociais. Contudo, essas variações de domínio dificultavam o gerenciamento da bacia, visto que diferentes interesses estão envolvidos no processo.

Além disso, a instrução de um processo de outorga é uma atividade complexa que envolve o balanço entre a disponibilidade hídrica e as demandas de uso das águas, compatibilizado ante as necessidades de conservação ambiental. O processo está sujeito a restrições de ordem econômica, social e legal.

Conforme Pabón (2009), com respeito à metodologia multiobjetivo e multicritério de auxílio de outorga de recursos hídricos, a possibilidade de incluir aspectos econômicos, ambientais, técnicos e sociais, diferentes dos critérios hidrológicos normalmente utilizados, possibilita definir uma política de outorga que seja capaz de considerar os conflitos que se podem apresentar, de se articular com políticas sociais na bacia, de permitir a expansão dos projetos de recursos hídricos além dos limites normalmente utilizados e de promover o uso mais racional da água.

A análise multiobjetivo e multicriterial na implementação dos instrumentos do gerenciamento de recursos hídricos, em particular a outorga, será abordada no decorrer deste capítulo.

A água é um bem escasso e anuncia-se como um dos principais vetores de sustentabilidade no século XXI. A sociedade precisa despertar para um uso cada vez mais eficiente da água disponível, de forma a manter os níveis de qualidade de vida e de desenvolvimento. Torna-se imprescindível um processo de conscientização em relação à escassez da água e da sua importância para a sustentabilidade, bem como a inclusão e o desenvolvimento dos instrumentos da análise do risco e da cobrança pelo uso da água, na teoria e na prática.

As implicações da implementação do instrumento da cobrança para o gerenciamento dos recursos hídricos será abordado em seguida.

2.3 INSTRUMENTO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA BRUTA

Dentro do Contexto de escassez e necessidade de valoração, a avaliação econômica do uso da água tem merecido uma atenção especial.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) compartilham dessa visão e afirmam que, devido à escassez relativa, a água bruta é, de fato, um bem econômico.

A cobrança pelo uso da água é um instrumento que tem por objetivo induzir os usuários a atingir o nível ótimo social de uso da água, por meio da internalização dos custos sociais (externalidades) na contabilidade dos usuários.

Para Carrera-Fernandez e Garrido (2002) o que induz o usuário a não levar em consideração o custo social que a sua decisão de consumir um metro cúbico a mais de água causa aos outros usuários do sistema é o fato da água de uma bacia hidrográfica ainda ser cotada ao preço zero.

Não só os custos pelo uso excessivo da água, mas também pela degradação do ambiente de um modo geral, incidem sobre a sociedade como um todo e nas gerações futuras, não apenas naqueles que os degradam. Ou seja, o uso do meio ambiente gera externalidades, custos ambientais não captados pelo sistema de preços, e, portanto, externos às funções de custo e de demanda. Isto significa também dizer que o problema da externalidade pode ser originado pela falta de mercado ou falha em seus mecanismos ou pelo preço incorreto do recurso ou produto.

2.3.1 Abordagens sobre as externalidades causadas pelo uso da água

Segundo Ribeiro e Lanna (2001), uma das propostas para a internalização dos custos externos pelo uso da água foi a de resolver a questão através da livre negociação entre as partes (poluidor e vítima), dispensando a participação governamental. Essa proposta é conhecida como o “Teorema de Coase” por ter sido proposta por Ronald Coase em seu artigo intitulado “The problem of social cost” (COASE, 1960 *apud* RIBEIRO E LANNA, 2001). Contudo, conforme afirmam os autores, a teoria não teve valor prático, devido à inexistência de condições para a negociação de forma socialmente eficiente para uma imensa categoria das externalidades.

Quanto à falha nos mecanismos de mercado, Ribeiro e Lanna (2001) explicam que: “o mercado privado não é capaz de fazer a alocação eficiente dos recursos, uma vez que os custos marginais privados são diferentes dos custos marginais sociais e a economia se afasta do Ótimo de Pareto”. Para compreender melhor essa afirmação, a Figura 2.1 mostra a representação das curvas de custos marginais privados e sociais, como forma de ilustrar o

“problema do custo social” da água conforme propõe os autores Carrera-Fernandez e Garrido (2002).

Na Figura 2.1, a curva CMg^P representa o custo marginal privado de captação da água para uma determinada finalidade. Essa curva engloba o custo de oportunidade para um usuário utilizar $1m^3$ adicional de água de um manancial, o que também causa um custo adicional para a sociedade, pois os demais usuários passam a dispor de $1m^3$ a menos de água para o seu uso. A curva CMg^S mostra o custo marginal social da captação de água, que inclui, além do custo de oportunidade privado para captar $1m^3$ de água, o custo adicional imposto à sociedade. A função de demanda por m^3 de água é representada por $P(x)$, a qual especifica o benefício marginal para cada nível de utilização desse recurso (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002). Os custos marginais sociais (CMg^S) diferem dos custos marginais privados (CMg^P) por uma quantidade igual aos custos marginais externos (CMg^E).

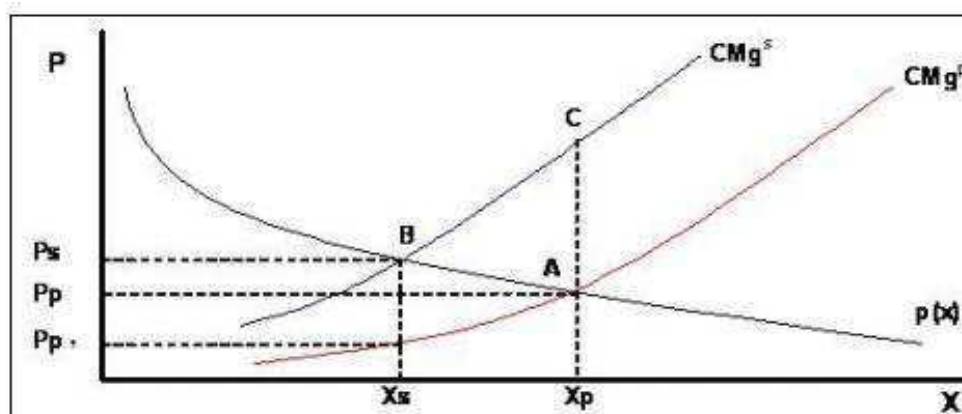


Figura 2.1 - Diagrama de distorção entre os custos sociais e privados

Fonte: Carrera-Fernandez e Garrido (2002)

Conforme exemplo dos autores, no caso do agente considerar apenas os seus custos marginais privados, o usuário consumirá um volume de água maior, representado por X_p , no qual o preço é igual ao custo marginal privado ($P_p = CMg^P$, ponto A da Figura 2.1). O preço eficiente socialmente ocorre no ponto B da Figura 2.1, onde $P_s = CMg^S$ e o nível de consumo da água cai para X_s . Com a cobrança pela utilização de $1m^3$ de água no valor de $P_s - P_p'$, o ganho para a sociedade fica representado pela área ABC. Contudo, Ribeiro e Lanna (2001) enfatizam que a grande questão que se mostra é quais mecanismos devem ser aplicados para internalizar estes custos externos, fazendo com que os agentes passem do nível de consumo de água X_p para o nível X_s ?

Outras formas de corrigir as externalidades são: a solução pigouviana, análise benefício-custo e a análise custo-efetividade.

A solução pigouviana refere-se a um tipo de imposto que tem por finalidade corrigir o efeito de uma externalidade, internalizando para o agente causador, os efeitos das suas escolhas, sendo assim, eleva-se a eficiência do sistema. Seu nome é uma referência a Arthur Cecil Pigou, que propôs a ideia, no início do século XX. Segundo Cánepa (2003), a externalidade negativa é corrigida, mediante a cobrança, em forma de imposto, da diferença entre o custo marginal privado e o custo marginal social, elevando o preço do produto e consequentemente, levará à redução da demanda e da quantidade produzida, reduzindo a pressão sobre o meio ambiente.

O imposto pigouviano introduziu o princípio poluidor-pagador (PPP), com a imposição de um tributo ao poluidor. Este princípio foi definido e adotado em 1972, pela OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômicos). Em 1987, a Organização ampliou o PPP criando também o Princípio Usuário-Pagador (PUP) pelo qual o usuário é compelido a internalizar os custos que impõe a terceiros ao usar o recurso natural (RIBEIRO E LANNA, 2001). Para Gurgel (2001) este último princípio procura construir técnicas de tarifação mais eficientes por refletir os custos de investimento e de exploração relacionados ao consumo e degradação dos recursos hídricos. A diferença essencial entre os dois princípios está no foco da cobrança, sendo que o princípio usuário-pagador assume que é necessário levar em consideração todos os usuários de um recurso, não apenas os agentes poluidores.

A segunda abordagem para a correção da externalidade é a Análise Custo-Benefício (ACB), que visa identificar e avaliar todos os custos e benefícios associados a diferentes alternativas, e, assim, determinar qual a alternativa que maximiza a diferença entre benefícios e custos, os quais são expressos em termos monetários. Na análise de custo-benefício social é levada em conta uma ampla gama de impactos e não somente os lucros.

Para a cobrança pelo uso da água, sob a ótica dessa abordagem é necessário identificar a função de custo social total associada ao uso do recurso, para em seguida identificar seu custo marginal social (Cmg^s). Da mesma forma é preciso estimar a função do benefício social, bem como o benefício social marginal (Bmg^s). No ponto onde $Cmg^s = Bmg^s$, a inclinação das curvas de custo total e benefício total são iguais e, portanto, o benefício social líquido é máximo, atingindo-se um ótimo de Pareto (RANDALL, 1944).

Lanna (2001) cita três objeções importantes ao uso da curva ACB. As duas primeiras são baseadas no autor K. W. Kapp (SACHS, 1972 *apud* LANNA, 2001): a primeira seria atingir um ótimo com abatimento desprezível, ou mesmo nulo, embora necessário, devido à

"disposição de pagar" que depende da renda dos indivíduos afetados, que geralmente é muito baixa ou desigualmente distribuída; a segunda diz respeito as incertezas pela variedade dos poluentes e de seus efeitos difusos, levando a "disposição de pagar" a não captar os reais benefícios. E a terceira, para qual Lanna se baseou em Pearce (1976), diz respeito ao ponto ótimo ser inadequado do ponto de vista dinâmico. Por exemplo, quando o ponto eficiente, sob o ângulo da curva ACB, é superior à capacidade assimilativa do corpo receptor, desencadeiam-se processos dinâmicos de comprometimento crescente dessa capacidade, afetando esta ou gerações vindouras.

A terceira solução dos problemas das externalidades é a Análise Custo-Efetividade (ACE). Diferente da ACB, a ACE não se busca o nível ótimo de utilização do recurso, mas o alcance de uma meta pré-acordada ao menor custo para a sociedade. Caso a meta não seja eficiente, a ACE pode não conduzir a uma alocação eficiente. Randall (1944) sugere que a ACE é mais apropriadamente aplicada em casos em que o mais importante não é garantir o cumprimento de metas, mas sim cumpri-las ao menor custo possível. Ribeiro e Lanna (2001) exemplificam uma aplicação da ACE em uma versão "custo fixo" onde se partindo de um certo montante disponível para investir no controle da poluição da bacia determina-se que nível de abatimento seria possível alcançar.

2.3.2 Metodologias da valoração da água

As metodologias de cobrança pelo uso da água estão divididas em dois grandes grupos de modelos: Modelos Ad Hoc e Modelos de Otimização, conforme argumentação teórica apresentada por Carrera-Fernandez e Garrido (2002), na qual estão baseados os conceitos abaixo.

Os modelos *ad hoc* não conduzem aos princípios econômicos por serem baseados em critérios técnicos ou em buscar apenas a recuperação dos custos associados à gestão dos recursos hídricos. Neste modelo os usuários devem ratear os custos totais de produção para cobrir todos os custos associados com a sua oferta. Ou seja, tem por finalidade principal subsidiar as ações de gerenciamento da bacia hidrográfica, caracterizando-se como modelos de cobrança arrecadatários, que não avaliam o valor econômico da água para cada setor usuário, apenas o impacto da cobrança.

Para os autores a grande desvantagem deste modelo está na sua ineficiência na alocação dos recursos e em tornar o sistema de gestão autossustentável financeiramente, apesar da sua

simplicidade administrativa e aos poucos gastos necessários na coleta e tratamento das informações.

O segundo grupo, os chamados Modelos de Otimização está baseado nos postulados da teoria econômica neoclássica, a qual possibilita superar os obstáculos de se determinar o valor de recursos naturais, como a água, que não dispõem de mercado. Neste sentido, a metodologia prioriza alguns princípios econômicos básicos: eficiência econômica, eficiência distributiva (equidade) e sustentabilidade financeira.

Os modelos de otimização podem ser subdivididos entre os de equilíbrio geral ou parcial. Os métodos baseados no modelo de otimização em equilíbrio parcial são fundamentados em uma das seguintes teorias: i) teoria da demanda; ii) teoria da oferta; e iii) teoria do equilíbrio de mercado. No caso dos métodos de otimização em equilíbrio geral, o valor da água pode ser determinado pelas teorias *first best* ou *second Best* (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Metodologias de cobrança pelo uso da água

Fonte: Carrera-Fernandez e Garrido (2002)

Por não existirem mercados de água, no caso da teoria da demanda, utilizam-se dois métodos de ajuste indireto na determinação da função da demanda: método da avaliação contingente (MAC) e demanda “tudo ou nada”.

O método da avaliação contingente consiste em valorar bens públicos e/ou ambientais para os quais não há preços de mercado. Neste método é criado um mercado hipotético onde os consumidores tenham a oportunidade de revelar sua disposição de pagar pelo bem ou serviço ambiental por intermédio da aplicação de questionário. A metodologia permite traduzir em valores monetários as mudanças no bem-estar dos indivíduos provenientes de

bens e serviços não ofertados em mercados formais. As desvantagens do método estão na dificuldade dos entrevistados em avaliar bens fora das transações normais do mercado e conseqüentemente os valores obtidos pela simulação de uma situação hipotética podem refletir mais intensamente o valor de existência do bem do que o valor de transação do bem (TAFNER *et al.*, 2003).

A demanda “tudo ou nada” é um método indireto para estimar a demanda por água bruta ajustada por intermédio de dois pares de pontos obtidos pela determinação do preço de reserva da água para cada um de seus usos. O preço de reserva ou o custo de oportunidade é o valor máximo que o usuário de água estaria disposto a pagar para obter água de uma fonte alternativa, em caso de uma interrupção no fornecimento. Ao buscar a solução alternativa o usuário estaria revelando o verdadeiro valor, ou custo de oportunidade da água para esse uso.

No âmbito da teoria da oferta, a formação de preço pelo custo marginal possui dois espaços de tempo: curto prazo e longo prazo. O custo marginal de curto prazo é aquele destinado à cobrança pelo uso da água, baseado nos custos de operação, manutenção e reposição nos sistemas de provimento de água ou de tratamento de despejos. Entretanto, o método pode acarretar distorções na distribuição do ônus para a sociedade, tornando-se injusto para a mesma. Como solução alternativa pode-se substituir o custo marginal de curto prazo pelo de longo prazo, no qual o diferencial entre o preço efetivamente cobrado e o custo marginal de curto prazo é considerado como renda econômica atribuída à escassez de água, que pode ser utilizada na forma de investimentos futuros no setor. O custo marginal em longo prazo soluciona o problema distributivo que ocorre quando o custo marginal de gerenciamento é muito pequeno em relação ao custo fixo (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002).

A outra teoria dos modelos de otimização em equilíbrio parcial é o baseado no equilíbrio de mercado, normalmente operacionalizado por intermédio de certificados negociáveis de direito de uso da água, fundamentado na descentralização da decisão, que fica totalmente a cargo dos usuários, sem a interferência do estado. Entretanto, conforme Ribeiro e Lanna (2001), existe uma grande dificuldade em se atender as condições para um mercado de concorrência perfeita: os direitos de propriedade bem definidos; inexistência de economias de escala; grande número de participantes comprando e vendendo com diferentes custos e benefícios, convergindo para várias críticas aos mercados de água. Como exemplo, a autora cita um caso brasileiro, no estado de Pernambuco, em que ocorreu uma intensiva venda de água, nos anos de 1998 e 1999, nos períodos de racionamento do sistema de abastecimento d'água da Região Metropolitana do Recife. A água era derivada de poços, explorada por

particulares e vendida em carros pipa ou em pequenos depósitos e a população submete-se a pagar altos valores, mesmo a camada de baixa renda; além do problema ambiental ocasionado devido a exploração do lençol subterrâneo de forma indiscriminada. No entanto quando a água é considerada como um bem público, no caso do Brasil, as águas são de domínio da União e dos Estados e não é suscetível de direito de propriedade, inexistem mercados de água. Apenas a União e os Estados têm atribuições de outorgar e cobrar pela água no país.

A teoria do *first best*, assim como a teoria da oferta, se baseia na formação de preços pelo custo marginal de produção, admitindo que o gerenciamento dos recursos hídricos é uma atividade econômica como outra qualquer e, portanto, a igualdade entre preço e custo marginal de produção (curto prazo) conduz à eficiência técnica, alocativa e de escala, maximizando o excedente social líquido. Entretanto, o método pode acarretar graves distorções distributivas, tornando-se socialmente injusto (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002).

Nos modelos de otimização de equilíbrio geral, por meio da metodologia de preços ótimos (*second best*), a cobrança pelo uso da água é fundamentada no custo marginal da água e na elasticidade-preço da demanda, para cada setor usuário (Carrera-Fernandez, 2000)

A metodologia dos preços ótimos busca uma política de preços que maximiza a diferença entre os benefícios e custos sociais e, ao mesmo tempo, minimiza os impactos distributivos na economia. Nesta metodologia os preços são otimizados, minimizando os impactos distributivos do reajuste entre as diferentes classes de consumidores. A economia não é levada a se afastar do ótimo de Pareto, que ocorre em uma política de longo prazo e nem tão pouco cria uma distorção na utilização dos recursos hídricos, que ocorre com a política de preços baseadas no custo médio de produção. O método de preços ótimos estabelece que a variação percentual de preço em relação ao custo marginal é inversamente proporcional à elasticidade-preço da demanda. Dessa forma, quanto menor for a elasticidade-preço para uma determinada modalidade de uso da água, maior deverá ser o seu preço em relação ao custo marginal e vice-versa.

Para Carrera-Fernandez e Garrido (2002) a principal vantagem dessa metodologia é que ela dá uma indicação do valor econômico da água em cada uso, permitindo a consideração de critérios de eficiência, gerando uma alocação eficiente, tanto sob o ponto de vista econômico quanto distributivo. Além disso, é a única que atende aos quatro objetivos básicos que uma metodologia dessa natureza deveria ter: (i) eficiência na alocação de recursos hídricos; (ii) internaliza os custos sociais; (iii) traduz o verdadeiro custo de oportunidade da água em cada uso; e (iv) assegura a auto sustentabilidade financeira do sistema hídrico.

A experiência internacional e as propostas brasileiras para a cobrança pelo uso da água seguem o critério do usuário-pagador ou do poluidor-pagador. No entanto, os preços emanados dessas experiências, geralmente, não trazem nenhuma preocupação explícita com a alocação ótima dos recursos hídricos entre os múltiplos usuários do sistema. Com exceção da metodologia de preços-ótimos, utilizada para nortear os estudos de cobrança pelo uso da água nos estados da Bahia e Pernambuco, a formação de preços considerada nos demais estudos de cobrança, busca, em geral, financiar os custos e investimentos necessários para o setor de recursos hídricos, sem levar necessariamente a uma alocação eficiente dos recursos hídricos entre os múltiplos setores usuários capazes de minimizar os impactos negativos na economia.

Os modelos de gestão de recursos hídricos de muitos países alertam que a cobrança precisa ser legítima, para que ela atue como um instrumento de preservação da quantidade e qualidade da água. Para Magalhães Filho *et al* (2013) o modelo alemão e o modelo escocês mostram-se interessante no método de cobrança que, neste caso, demonstra maior preocupação em determinar o potencial poluidor do usuário e realizar uma cobrança de maneira ajustada a característica poluidora deste usuário.

A cobrança na Escócia é relativa ao lançamento de efluentes com autorização para tal (MAGALHÃES FILHO *et al*, 2013; SILVA, 2006). A SEPA (Schottisch Environmental Protection Agency) é responsável pelo controle, proteção e preservação da qualidade ambiental, cobrando uma taxa anual dos usuários que lançam os efluentes. Segundo Magalhães Filho *et al* (2003) apesar da cobrança ser voltada apenas para recuperação de custos de descargas em corpos hídricos, esta se destaca por sua simplicidade e pela possibilidade de estendê-la a volumes captados e consumidos.

Na Alemanha o governo desempenha a função de regulador/fiscalizador, aplicando alguns instrumentos econômicos, com destaque a cobrança pelo uso da água (MAGALHÃES *et al*, 2013). A cobrança destina-se exclusivamente a financiar medidas de melhoria da qualidade das águas e é cobrada uma taxa regulada por lei federal (Abwasserabgabengesetz – AbwAG), em vigor desde 1976. A cobrança incide sobre: captação de águas superficiais e subterrâneas, praticada em alguns estados; poluição instituída pela Lei Federal da Taxa de Esgotos; e por tratamento de água pluvial (FSM/UFCEG, 2008). O princípio poluidor-pagador na Alemanha é aplicado através da “taxa de esgotos” (RAMOS, 2007).

Na Inglaterra e Países de Gales, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos incide sobre captação de águas superficiais e subterrâneas e sobre o lançamento de efluentes (Silva, 2006). O governo da Inglaterra privatizou as funções de serviços da água, em 1989, em parte porque a privatização de serviços públicos era uma política governamental e em parte pela grande

necessidade de capital requerida pela indústria de água para atender à Diretiva sobre Banho e Água Potável e à Diretiva de Tratamento de Esgoto Urbano (FSM/UFCEG, 2008).

A cobrança na Holanda, no início dos anos 70, tinha por finalidade arrecadar recursos e induzir o tratamento de efluentes domésticos e industriais e proteger a água subterrânea, esta sim ameaçada pela intrusão salina e pela poluição. Posteriormente, a cobrança por uso da água incidiu sobre: a) cobrança por poluição relativa ao lançamento de efluentes; b) cobrança por captação aplicada apenas para as águas subterrâneas. O sistema de gestão holandês é descentralizado por órgãos regionais de água (water boards), contudo, sem a estrutura participativa e hierárquica de bacias do sistema francês (FSM/UFCEG, 2008).

A política francesa de gestão de recursos hídricos tem servido de modelo em todo o mundo, inclusive para o Brasil e foi um dos países precursores na aplicação da cobrança pelo uso da água combinada com uma gestão participativa e integrada por bacia hidrográfica (RAMOS, 2007; SILVA, 2006). Os recursos advindos da cobrança são revertidos para atender os planos de atividades das agências de bacias.

Na França, a cobrança se dá pela captação e consumo das águas superficiais e subterrâneas (volume de água captado e volume consumido); bem como pela diluição de efluentes (carga poluente lançada nos corpos hídricos).

O modelo francês, assim como o modelo brasileiro, se baseia na gestão do uso da água descentralizada e com adequada definição de unidade territorial a ser gerenciada, a bacia hidrográfica, com a aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água na própria bacia.

Santos (2002) descreve que os sistemas de gestão de recursos hídricos na experiência internacional diferenciam-se em função da intensidade da aplicação dos instrumentos de comando e controle ou de instrumentos econômicos; pelo nível de descentralização da gestão; e pelo tipo de controle da poluição das águas.

2.3.3 A Cobrança pelo Uso da Água no Brasil e seus Aspectos Legais

O fundamento legal para a cobrança pelo uso da água no Brasil remonta ao Código Civil de 1916, atualizado pelo novo código, instituído pela Lei 10.406/2002. Em seu Art. 103 da nova Lei dispõe que “*O uso comum dos bens públicos pode ser gratuito ou retribuído, conforme for estabelecido legalmente pela entidade a cuja administração pertencerem*”.

O Código de Águas, assim como o Código Civil, estabelece, em seu Artigo 36,

parágrafos I e II, que deva ser gratuito ou retribuído o uso comum das águas, conforme as leis e regulamento da circunscrição administrativa a que pertencerem. Os Artigos 109 e 110 determinam que não é lícito a ninguém contaminar águas que não consome, prejudicando a terceiros, sendo os trabalhos para a salubridade das águas executados à custa dos infratores, os quais, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas previstas nos regulamentos administrativos. Contudo, admite-se que, se os interesses da agricultura ou da indústria o exigirem, e mediante expressa autorização administrativa, as águas possam ser inquinadas; porém, pelo favor concedido, os agricultores ou industriais deverão indenizar os poderes públicos ou os particulares que forem lesados (Art. 111 e 112).

Posteriormente, a Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei 6.938/81 que criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente, em seu Art. 4^o, VII, estabelece a imposição ao poluidor e ao predador da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização dos recursos ambientais com fins econômicos, adotando os princípios de usuário-pagador e poluidor-pagador.

Finalmente, a Lei 9.433/97 definiu a cobrança como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos e a Lei 9.984/2000, que instituiu a Agência Nacional de Águas – ANA, atribuiu a essa Agência a competência para implementar, em articulação com os CBH's, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União.

A cobrança pelo uso da água bruta, em conformidade com a Lei 9.433/97, objetiva: (i) reconhecer a água como bem econômico; (ii) dar a ela o seu real valor; (iii) incentivar a racionalização do seu uso; e (iv) obter recursos para o financiamento dos programas e intervenções previstos nos planos de recursos hídricos (Art. 19).

O objetivo financeiro também está presente no Art. 22 da referida Lei que define que os valores cobrados deverão financiar não apenas os estudos, programas, projetos e obras dos planos de recursos hídricos, mas também a implantação e custeio administrativo do SNGRH. Ainda conforme o Art. 22: “Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e serão utilizados”.

Serão cobrados todos os usos sujeitos à outorga, conforme o Art. 20 e o valor e critérios de cobrança pelo uso de águas federais serão estabelecidos pelo Comitê de bacia (inciso VI do Art. 38).

A Lei 9.984/00, que dispõe sobre a criação da ANA, em seu artigo 28, tratou da cobrança pelo uso da água pelas usinas hidrelétricas, ao alterar o artigo 17 da Lei 9.648, de

27.05.1998, que passou a estabelecer que a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos será de: (i) seis por cento do valor da energia produzida serão distribuídos entre os Estados, Municípios e órgãos da administração direta da União; (ii) setenta e cinco centésimos por cento do valor da energia produzida serão destinados ao Ministério do Meio Ambiente, para aplicação na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Na esfera estadual, 26 Estados e o Distrito Federal já aprovaram suas Leis sobre Política e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Todas as leis já aprovadas incluíram a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumento de gestão. Observa-se, então, que são várias as oportunidades para se implantar a cobrança. Porém, persistem questões técnicas e metodológicas, assim como dificuldades de integração com outros instrumentos de gestão.

As experiências de cobrança pelo uso da água no Brasil são ainda bastante restritas. A primeira bacia federal onde se iniciou a cobrança foi a Bacia do Rio Paraíba do Sul, em 2003, mas de forma restrita aos rios de domínio da União. Em dezembro de 2005, através da Resolução CNRH n^o 52, de 28 de dezembro de 2005, foi aprovada a cobrança para as águas de domínio da União da Bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Para as águas de domínio dos estados, o Estado do Ceará implantou a cobrança em 1996. O Estado do Rio de Janeiro implantou inicialmente a cobrança apenas para as águas fluminenses da bacia do Paraíba do Sul, iniciada em 2004, e, com a aprovação da Lei estadual 4247/03, a cobrança foi estendida para as demais bacias fluminenses.

O Quadro 2.3 apresenta a cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil, em bacias hidrográficas federais e estaduais.

Atualmente, em rios de domínio da União, além das bacias do Rio Paraíba do Sul, Piracicaba, Capivari e Jundiaí, a cobrança já foi implementada na bacia do Rio São Francisco e na bacia do Rio Doce.

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul abrange parte dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, caracterizando-se, assim, como bacia federal, por banhar mais de um estado da federação. A cobrança é aplicada à captação, ao consumo, ao lançamento de efluentes e à transposição de bacias, sujeitos à outorga de direito de uso de recursos hídricos com captação de água superior a 1,0 l/s.

Bacia Hidrográfica		Domínio	Início	Lei/Decreto/Resolução - Cobrança	Fonte
Bacias Interestaduais - Cobrança Implementada					
Interestadual	Paraíba do Sul (CEIVAP)	União	mar/03	Resolução CNRH n° 44, de 02/07/2004	ANA
	Paraíba do Sul (Transposição PBS/Guandu)	União	jan/07	Resolução n° 66 de 07/12/2006	INEA/RJ
	Piracicaba, Capivari, Jundiá (Comitês PCJ)	União	jan/06	Resolução n° 52, de 28/11/2005	ANA
	São Francisco (CBHSF)	União	jul/10	Resolução CNRH n° 108/10	ANA
	Doce (CBH-Doce)	União	nov/11	Resolução CNRH n° 108, de 13/04/2010	ANA
Bacias Estaduais - Cobrança Implementada					
Rio de Janeiro	Médio Paraíba do Sul	RJ	jan/04	Lei Estadual n° 4.247/2003 alterada pela Lei Estadual n° 5.234/2008; Decreto RJ N° 41.974/2009	INEA/RJ
	Piabanha	RJ	jan/04		INEA/RJ
	Dois Rios	RJ	jan/04		INEA/RJ
	Baixo Paraíba do Sul	RJ	jan/04		INEA/RJ
	Baía de Guanabara	RJ	mar/04		INEA/RJ
	Baía da Ilha Grande	RJ	mar/04		INEA/RJ
	Guandu	RJ	mar/04		INEA/RJ
	Itabapoana	RJ	mar/04		INEA/RJ
	Lagos São João	RJ	mar/04		INEA/RJ
Macaé e Rio das Ostras	RJ	mar/04	INEA/RJ		
SÃO PAULO	Paraíba do sul	SP	jan/07	Decreto SP n° 51.450/2006	CBH e SSRH/SP
	PCJ (paulista)	SP	jan/07	Decreto Estadual n° 51.449/2006	CBH e SSRH/SP
	Sorocaba e Médio Tietê	SP	ago/10	Decreto Estadual n° 55.008/09	CBH e SSRH/SP
	Baixada Santista	SP	jan/12	Decreto Estadual n° 56.501/2010	CBH e SSRH/SP
	Baixo Tietê	SP	jan/13	Decreto Estadual n° 56.504/2010	CBH e SSRH/SP
Alto Tietê	SP	jan/14	Decreto Estadual n° 56.503/2010	CBH e SSRH/SP	
Minas Gerais	PJ	MG	mar/10	Decreto n° 44.046/2005 alterado pelo DECRETO 44.547/2007	IGAM/MG
	das Velhas	MG	mar/10		IGAM/MG
	Araguari	MG	mar/10		IGAM/MG
	Piranga	MG	jan/12		IGAM/MG
	Piracicaba	MG	jan/12		IGAM/MG
	Santo Antônio	MG	jan/12		IGAM/MG
	Suaçuí	MG	jan/12		IGAM/MG
	Caratinga	MG	jan/12		IGAM/MG
	Munhuaçu	MG	jan/12		IGAM/MG
Preto/Paraibuna	MG	nov/14	IGAM/MG		
Pomba/Muriaé	MG	nov/14	IGAM/MG		
Paraná	Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira	PR	Set/13	Decreto PR n° 5.361/2002	ÁguasParaná
Paraíba	Bacias hidrográficas do Estado	PB	jan/15	Decreto PB n° 33.613/12	AESA
Bacias Estaduais - Características típicas de Tarifa pelo Fornecimento de Água					
Ceará	Nas 12 bacias hidrográficas do Estado	CE	nov/96	Decreto CE n° 30.159/10	COGERH/CE
Bahia	Bacias hidrográficas do Estado	BA	2006	Lei Estadual n° 11.612/09	ANA

Quadro 2.3 - Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos no Brasil

Fonte: Ana (2016) adaptado pela autora.

O Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Comitê PCJ foi o segundo comitê a implementar a cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União, em janeiro de 2006. A bacia hidrográfica dos referidos rios abrange uma área de 15,3 mil km², localizada nos Estados de São Paulo e Minas Gerais. A cobrança pelo uso da água na bacia foi iniciada em janeiro de 2007, e aplica-se à captação, ao consumo, ao lançamento de efluentes e à transposição de águas entre bacias, sujeitos à outorga de direito de uso de recursos hídricos com captação de água superior a 5m³/dia.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco cobre uma área de 636,9 mil km², banhando sete estados: Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. O Comitê da bacia foi o terceiro a implementar a cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União, em julho de 2010. São cobrados os usos de captação, consumo e lançamento de efluentes de usuários sujeitos à Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos com captação de água superior a 4,0 l/s.

No caso da cobrança na bacia do rio Doce, os mecanismos não consideram a parcela consumo equivalente à diferença entre a vazão de água outorgada para captação e a vazão do efluente lançada no corpo hídrico. O CBH-Doce estabeleceu valores de cobrança progressivos do ano 2011 ao ano 2015, atrelando essa progressividade ao alcance de metas de desembolso pela Agência de Bacia.

Em bacias de rio de domínio estadual, o Estado do Ceará foi pioneiro na implementação da cobrança pelo uso da água, em 1996. Outros estados atualmente já adotaram a cobrança pelo uso da água bruta, conforme descrito no Quadro 2.3.

A cobrança pela utilização dos recursos hídricos no Ceará foi instituída pelo Decreto nº 24.264, de 12 de novembro de 1996 e inicialmente foi implementada para o uso industrial e as concessionárias de serviço de água potável, considerando o volume em m³ efetivamente consumido. A cobrança é destinada ao custeio das atividades do gerenciamento dos recursos hídricos, envolvendo os serviços de operação e manutenção dos dispositivos e da infraestrutura hidráulica (embora denominada tarifa, parte da cobrança no Ceará tem características de preço público).

Em relação à cobrança instituída no Estado do Ceará, apesar de se cobrar pelo uso da água, não se cobra o seu valor econômico. Segundo Ribeiro e Lanna (2001), este tipo de cobrança não tem, internalizados, os custos externos do uso do recurso.

No Estado da Bahia, assim como no Ceará a cobrança tem características típicas de tarifa e foi instituída em 2006. A cobrança é realizada pelo fornecimento de água bruta dos reservatórios, sendo parte da receita destinada à CERB que é responsável pela administração, operação e manutenção da infraestrutura hídrica destes reservatórios.

A cobrança pelo uso da água bruta do estado da Paraíba será descrita a seguir.

2.3.4 O instrumento da cobrança no Estado da Paraíba

No Estado da Paraíba a cobrança é efetuada pela AESA e está compatibilizada e

integrada com os demais instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos (§ 1º. Art. 19 da Lei 6.308/96).

O § 2º do Art. 19 trata dos critérios, mecanismos e valores a serem cobrados e estão regulamentados mediante Decreto do Poder Executivo Estadual (Decreto Nº 33.613/2012), sancionado pelo Governador, após aprovação pelo CERH, com base em proposta de cobrança encaminhada pelos respectivos CBH's, fundamentada em estudos técnicos elaborados pela AESA.

Em relação à compensação em razão de investimentos, o Parágrafo 3º do mesmo artigo, estabelece que os CBH's possam propor ao CERH mecanismos de incentivo e redução do valor a ser cobrado pelo uso de recursos hídricos, em razão de investimentos voluntários para ações de melhoria da qualidade e da quantidade da água e do regime fluvial, as quais resultem em sustentabilidade ambiental da bacia e tenham sido aprovados pelo respectivo Comitê.

O § 4º trata da cobrança pela água advinda do Projeto de Integração da bacia do Rio São Francisco, no qual os valores da cobrança pelo uso de recursos hídricos originários de bacias hidrográficas localizadas em outros Estados, transferidos através de obras implantadas pela União, serão estabelecidos pela AESA, em articulação com o órgão federal competente, assegurada a participação do CERH e dos CBH's, beneficiárias na discussão da proposta de cobrança.

A revisão dos valores está definida no Art. 20, bem como a periodicidade e a isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, foi estabelecida pelo CERH, em articulação com os CBHs, com base em estudos técnicos elaborados pela AESA.

As receitas da cobrança constituem receita do Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FERH, o qual, segundo o art. 23º da Lei 6.308/96, será administrado pela AESA e supervisionado pelo CERH, e que o regulamento do mesmo será aprovado por Decreto do Poder Executivo, devendo ser aplicado prioritariamente na bacia de origem.

O Art. 26 define onde serão depositados os valores arrecadados e em que serão aplicados: “Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão obrigatoriamente depositados no FERH e aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados [...]”. Serão disponíveis para o financiamento de estudos, programas, projetos e obras; no pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (limitado a 7,5% do total arrecadado). No caso dos recursos provenientes de obras de transposição de bacias realizadas pela União, a prioridade será a restituição, no que couber, das despesas com operação e manutenção da infraestrutura hídrica.

Quanto aos usos de pouca expressão para efeito de outorga e de cobrança, o Decreto n.º 19.260, de 31 de outubro de 1997, estabelece que 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 2.000l/h (0,56 l/s).

No tocante a da Lei 6.308, de 1996, o Art. 10º-B 41 estabelece que é competência dos Comitês de Bacia, no âmbito de sua área de atuação, propor ao CERH as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso dos recursos hídricos.

Atualmente, no Estado da Paraíba estão instalados os Comitês estaduais da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte, das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul e da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, a qual é de domínio federal.

A cobrança pelo uso da água bruta de domínio do Estado da Paraíba atualmente está regulamentada por meio do Decreto Nº 33.613, de 14 de Dezembro de 2012. Estarão sujeitos à cobrança, conforme estabelece o Art. 3º da referida Lei, as demandas registradas nas outorgas para os seguintes tipos de uso:

(i) as derivações ou captações de água por concessionária ou outras entidades responsáveis pela prestação de serviço público de abastecimento de água e esgotamento sanitário, cujo somatório das demandas seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano;

(ii) as derivações ou captações de água por indústria, cujo somatório das demandas seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano;

(iii) as derivações ou captações de água para uso agropecuário, por empresa ou produtor rural, cujo somatório das demandas seja igual ou superior ao valor do volume anual mínimo, estabelecido para as seguintes bacias hidrográficas:

a) do Litoral Sul: 1.500.000m³

b) do rio Paraíba: 350.000m³

c) do Litoral Norte: 350.000m³

d) sem comitê instituído: 350.000m³

(iv) o lançamento em corpo de água de esgotos e demais efluentes, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

(v) outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Os valores cobrados pelo usuário da água, deliberados pelos CBH's do Estado da

Paraíba, estão regulamentados no Art. 4º com os seguintes valores:

I – para irrigação e outros usos agropecuários:

a) R\$ 0,003 por metro cúbico, no primeiro ano de aplicação da cobrança;

b) R\$ 0,004 por metro cúbico, no segundo ano de aplicação da cobrança;

c) R\$ 0,005 por metro cúbico, no terceiro ano de aplicação da cobrança;

II – R\$ 0,005 por metro cúbico, para uso em piscicultura intensiva e carcinicultura;

III – R\$ 0,012 por metro cúbico, para abastecimento público;

IV – R\$ 0,012 por metro cúbico, para uso pelo setor do comércio;

V – R\$ 0,012 por metro cúbico, para lançamento de esgotos e demais efluentes;

VI – R\$ 0,015 por metro cúbico, para uso na indústria;

VII – R\$ 0,005 por metro cúbico, para uso na agroindústria.

Na bacia hidrográfica do Litoral Norte, conforme deliberações do próprio comitê, a cobrança pelo uso da água bruta para irrigação e outros usos agropecuários terá seu valor constante e correspondente ao valor R\$ 0,003 por metro cúbico nos três primeiros anos.

O valor total anual a ser cobrado pelo uso da água bruta será calculado, conforme estabelecido Art. 5º do Decreto Nº 33.613/2012, pela seguinte fórmula:

$VT = k \times P \times Vol$, onde:

VT = valor total anual a ser cobrado (R\$);

k = conjunto de coeficientes de características específicas (adimensional);

P = preço unitário para cada tipo de uso (R\$/m³);

Vol = volume anual outorgado (m³).

O conjunto de coeficientes k terá seu valor fixado em 1 (um) durante os três primeiros anos. Após esse período, os valores do coeficiente K serão estabelecidos a partir de estudos técnicos elaborados pela Agência Executiva de Gestão das Águas dos Estado da Paraíba – AESA, submetidos à apreciação dos CBH's, se já tiverem sido instituídos, e aprovação do CERH (§ 1º do Art. 5º)

O Art. 6º estabelece os valores arrecadados com a cobrança pelo uso da água bruta, a qual deverá ser efetuada pela AESA, serão aplicados, impreterivelmente:

(i) no financiamento de ações de programas previstos no Plano Estadual de Recursos Hídricos e elencados no inciso I do referido artigo;

(ii) no financiamento de ações que objetivem a otimização do uso da água;

(iii) no pagamento das despesas de manutenção e custeio administrativo dos CBH's, quando os mesmos forem instituídos.

Apesar da cobrança pelo uso da água bruta ter sido regulamentada em dezembro de 2012, no Estado da Paraíba, a AESA, responsável por efetuar a cobrança, iniciou a mesma em janeiro de 2015, tendo como grande desafio desenvolver estudos para definir os coeficientes de ponderação de forma que a cobrança pelo uso da água seja socialmente justa, promovendo a eficiência econômica, equidade social e a preservação ambiental.

Outro aspecto importante a ser levado em consideração é quanto à necessidade de articulação com o órgão federal quando da implantação do instrumento em suas bacias que possuem água de dominialidade da união e do Estado.

2.3.5 Metodologia atual da cobrança no Estado da Paraíba

Fórmula da cobrança pelo uso da água bruta atualmente regulamentada na Paraíba

$$VT = k \times P \times Vol \quad (2.1)$$

onde:

VT = valor total anual a ser cobrado (R\$);

k = conjunto de coeficientes de características específicas (adimensional); **o valor de K=1 para os primeiros 3 anos de implantação da cobrança na Paraíba;**

P = preço unitário para cada tipo de uso (R\$/m³);

Vol = volume anual outorgado (m³) para cada tipo de uso.

Os volumes anuais outorgados sujeitos ao instrumento da cobrança Estado da Paraíba, conforme o Decreto N° 33.613/2012 são:

(i) as derivações ou captações de água por concessionária ou outras entidades responsáveis pela prestação de serviço público de abastecimento de água e esgotamento sanitário, cujo somatório das demandas seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano;

(ii) as derivações ou captações de água por indústria, cujo somatório das demandas seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano;

(iii) as derivações ou captações de água para uso agropecuário, por empresa ou produtor rural, cujo somatório das demandas seja igual ou superior ao valor do volume anual mínimo, estabelecido para as seguintes bacias hidrográficas. No caso da bacia do rio Paraíba, o volume anual mínimo é de 350.000m³:

(iv) o lançamento em corpo de água de esgotos e demais efluentes, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

(v) outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Conforme o que foi descrito acima, a metodologia não leva em consideração as reservas de água, bem como não proporciona diferenciações com o emprego de coeficientes que considere a classe de uso dos corpos hídricos, a disponibilidade hídrica local, a eficiência do uso da água, entre outros aspectos. Observa-se ainda que não são consideradas as diferenças entre os volumes captados outorgados e medidos. Neste sentido, para inserir estas questões na metodologia da cobrança pelo uso da água bruta no Estado da Paraíba, é proposto um modelo definido no Capítulo 3.

2.3.6 Modelos de cobrança em bacias hidrográficas federais

O valor da cobrança pelo uso da água bruta, com base nas diversas formulações empregadas em bacias hidrográficas federais e estaduais, é determinado a partir de uma base de cálculo estabelecida pelas quantidades de água captada, consumida e lançada nos corpos hídricos multiplicados pelo preço unitário (PU), que é um valor monetário que assume diferentes grandezas correspondentes ao tipo de uso da água. Esses valores podem ser alterados por coeficientes multiplicadores (K's), que assumem diferentes valores dependendo do tipo de uso (captação, consumo ou lançamento) e de outros elementos incorporados ao modelo e que afetam os preços ou as quantidades de partida.

Deste modo, apesar de algumas variações quanto à origem das informações relativas às quantidades (medidas ou outorgadas) e nomenclatura de variáveis, todos os modelos apresentam a mesma estrutura, conforme a fórmula abaixo:

$$\text{Valor} = Q \times \text{PU} \times K \quad (2.2)$$

onde:

Q = vazão considerada base de cálculo

PU = preço unitário

K = coeficiente

O preço unitário é definido pelo comitê com a finalidade de incentivar o uso racional e obter recursos financeiros para financiar as ações de recuperação das bacias. Os coeficientes, por sua vez, finalmente, visam adaptar os mecanismos de cobrança a objetivos específicos

definidos pelo comitê.

As ações para cobrança pelo uso dos recursos hídricos em rios de domínio da União vêm sendo desenvolvidas sob a coordenação da Agência Nacional de Águas (ANA), desde 2001. Atualmente, a cobrança já foi implantada na Bacia do rio Paraíba do Sul, nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, na bacia do rio São Francisco e na bacia do Rio Doce.

As primeiras discussões sobre a cobrança pelo uso da água ocorreram no âmbito do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), que aprovou a metodologia e valores de cobrança para usos em rios federais da bacia, passando a vigorar em 2003.

Em 2007, nova metodologia passou a vigorar para o CEIVAP, incorporando alguns aperfeiçoamentos, cuja formulação básica foi adotada por outros comitês federais e estaduais (Acselrad, 2013). A metodologia é composta de três parcelas:

$$\text{ValorTotal} = \text{Valorcap} + \text{Valorcons} + \text{ValorDBO} \quad (2.3)$$

Onde:

ValorTotal = pagamento anual pelo uso da água;

Valorcap = pagamento anual pela captação de água, em R\$/ano;

Valorcons = pagamento anual pelo consumo de água em R\$/ano;

ValorDBO = pagamento anual pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano.

As formulações para calcular o valor cobrado pela captação da água bruta em diversas bacias federais serão mostradas a seguir e servirão de base para a metodologia proposta neste estudo a ser empregada na bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

Valores da cobrança para captação

Modelo adotado na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul

O valor cobrado de cada usuário pelos recursos hídricos na bacia é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{ValorTotal} = (\text{ValorCap} + \text{ValorCons} + \text{ValorDBO} + \text{ValorPCH} + \text{ValorRural} + \text{ValorTransp}) \times \text{KGestão} \quad (2.4)$$

Em que:

ValorTotal = pagamento anual pela água referente a todos os usos;

ValorCap = pagamentos anuais referentes à captação de água bruta pelo usuário;

ValorCons = pagamentos anuais referentes ao consumo de água bruta pelo usuário;

ValorDBO = pagamentos anuais pelo lançamento de carga de DBO pelo usuário;

ValorPCH = pagamentos anuais pelo uso da água para geração hidrelétrica, por meio de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs;

ValorRural = pagamentos anuais pelo uso da água referentes à captação e consumo de água bruta no setor rural;

ValorTransp = pagamentos anuais pelo uso da água referentes à transposição de águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu; e

KGestão = coeficiente que considera o efetivo retorno à bacia dos recursos arrecadados pela cobrança do uso da água, que deverá ser, normalmente, igual a 1 (um), ou 0 (zero) quando não houver o retorno dos recursos à bacia.

Conforme a Deliberação CEIVAP N.º 65/2006, Anexo I, Art. 2º, § 2º - quando houver medição do volume anual de água captado, a cobrança será feita de acordo com a seguinte equação, na qual:

$$\text{Valor CAP} = [(K_{\text{out}} \times Q_{\text{cap out}} + K_{\text{med}} \times Q_{\text{cap med}}) + K_{\text{med extra}} \times (0,7 \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}})] \times \text{PPU}_{\text{CAP}} \times K_{\text{CAP CLASSE}} \quad (2.5)$$

Onde:

K_{out} = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado;

K_{med} = peso atribuído ao volume anual de captação medido;

$K_{\text{med extra}}$ = peso atribuído ao volume anual disponibilizado no corpo d'água;

$Q_{\text{cap out}}$ = volume anual de água captado segundo os valores da outorga;

$Q_{\text{cap med}}$ = volume anual de água medido e/ou previsto pelo usuário;

PPU_{cap} = Preço Público Unitário para captação superficial;

$K_{\text{cap classe}}$ = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação.

- Se $(Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}})$ for maior ou igual a 0,7 - $K_{\text{out}} = 0,2$; $K_{\text{med}} = 0,8$ e $K_{\text{med extra}} = 0$

- Se $(Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}})$ for menor a 0,7 - $K_{\text{out}} = 0,2$; $K_{\text{med}} = 0,8$ e $K_{\text{med extra}} = 1$

- Se $(Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}})$ for maior que 1 - $K_{\text{out}} = 0$; $K_{\text{med}} = 1$ e $K_{\text{med extra}} = 0$

Para esta última condição, o usuário deverá solicitar retificação da outorga de direito de uso de recursos hídricos e estará sujeito às penalidades previstas em lei.

Os pesos de K_{OUT} e K_{MED} são definidos visando desestimular a criação de “reservas de água”.

Modelo adotado na bacia hidrográfica do PCJ

O valor total anual pago pelos diversos usuários é calculado considerando captação, consumo, lançamento de efluentes, geração de energia, irrigação e transposição entre bacias:

$$\text{ValorTotal} = (\text{Valorcap} + \text{Valorcons} + \text{ValorDBO} + \text{ValorPCH} + \text{ValorRural} + \text{ValorTransp}) \times \text{KGestão} \quad (2.6)$$

Em que:

ValorTotal = pagamento anual pelo uso da água referente a todos os usos;

ValorCap, ValorCons, ValorDBO, ValorPCH, ValorRural, ValorTransp = pagamentos anuais pelo uso da água referentes a cada uso dos recursos hídricos; e

KGestão = coeficiente que considera o efetivo retorno à bacia dos recursos arrecadados pela cobrança do uso da água, que deverá ser normalmente igual a 1 (um) ou 0 (zero) quando não houver o retorno dos recursos à bacia.

De acordo com a Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ no 078/07, de 05/10/2007, Artigo 2º, a cobrança pela captação de água será feita de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{\text{cap}} = [0,2 \times Q_{\text{cap out}} + 0,8 \times Q_{\text{cap med}} + 1,0 \times (0,7 \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}})] \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap classe}} \quad (2.7)$$

na qual:

Valorcap = pagamento anual pela captação de água;

Kout = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado;

Kmed = peso atribuído ao volume anual de captação medido;

$Q_{\text{cap out}}$ = Volume anual de água captado, em m^3 , em corpo d'água de domínio da União, segundo valores da outorga, ou verificados pela ANA, se não houver outorga;

$Q_{\text{cap med}}$ = Volume anual de água captado, em m^3 em corpo d'água de domínio da União, segundo dados de medição;

PUB_{cap} = Preço Unitário Básico para captação superficial;

$K_{\text{cap classe}}$ = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação.

Os Comitês PCJ adotaram $K_{\text{out}} = 0,2$ e $K_{\text{med}} = 0,8$. Na situação em que $Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}}$ for menor que 0,7 é acrescida a parcela de volume a ser cobrado correspondente à diferença entre $0,7 \times Q_{\text{cap out}}$ e $Q_{\text{cap med}}$ com $K_{\text{med extra}} = 1$.

O acréscimo da parcela definida acima objetiva desestimular a criação de “reservas de água”. Neste sentido, os Comitês PCJ igualmente ao do Paraíba do Sul propuseram um tratamento diferenciado para os usuários cujo volume anual de água captado medido for inferior a 70% do volume anual de água captado outorgado. A “reserva de água”, mesmo quando paga, inviabiliza a entrada de novos usuários na bacia ou a expansão do empreendimento de usuários existentes.

Modelo adotado na bacia hidrográfica do Rio São Francisco

O valor a ser pago por cada usuário é equivalente ao somatório dos valores apurados para pagamento em cada componente (captação, consumo, lançamento e transposição de bacias).

A captação ou retirada de água do corpo hídrico é cobrada de acordo com a fórmula abaixo:

$$\text{Valorcap} = Q_{\text{cap}} \times \text{PPUcap} \times (K_{\text{cap classe}} \times K_t) \quad (2.8)$$

Em que:

ValorCap = pagamento anual pela captação de água;

Q_{cap} = volume anual de água captado (m^3/ano), de acordo com dados da outorga;

PPUcap = Preço Público Unitário para captação superficial ($\text{R}\$/\text{m}^3$);

$K_{\text{cap classe}}$ = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo hídrico;

K_t = coeficiente que leva em conta as boas práticas de uso e conservação da água.

Para Viana (2011) é interessante observar que o modelo da Bacia do Rio São Francisco é explícito quanto à cobrança pela captação com base no volume outorgado, diferentemente dos modelos anteriores, que consideram que o volume da captação pode ser obtido a partir do volume medido ou do volume captado para evitar as reservas de água.

Modelo adotado na bacia hidrográfica do Rio Doce

O Art. 2º da Deliberação CBH-Doce Nº 26, de 31 de março de 2011, estabelece a seguinte equação para a definição da cobrança pelo uso de recursos hídricos:

$$\text{Valortotal} = (\text{Valorcap} + \text{Valorlanç} + \text{Valortransp} + \text{ValorPCH}) \times \text{Kgestão} \quad (2.9)$$

Na qual:

Valortotal = valor anual total de cobrança, em R\$/ano;

Valorcap = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

Valorlanç = valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;

Valortransp = valor anual de cobrança pela transposição de água, em R\$/ano;

ValorPCH = valor anual de cobrança pela geração de energia elétrica por meio de PCHs, em R\$/ano;

Kgestão = coeficiente que leva em conta o efetivo retorno à bacia do rio Doce dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

A cobrança pela captação está definida no Art. 3º, feita de acordo com a seguinte equação básica:

$$\text{Valorcap} = \text{Qcap} \times \text{PPUcap} \times \text{Kcap} \quad (2.10)$$

Na qual:

Valorcap = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

Qcap = volume anual de água captado, em m³/ano;

PPUcap = Preço Público Unitário para captação, em R\$/m³;

Kcap = coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água: $Kcap = Kcap \text{ classe} \times Kt$

Na qual:

Kcap classe = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação, sendo igual a 1 enquanto o enquadramento não estiver aprovado pelo CNRH;

Kt = coeficiente que leva em conta a natureza do uso e/ou as boas práticas de uso e conservação da água.

Análise das metodologias apresentadas

A parcela do volume captado $Q_{cap} = 0,2 \times Q_{cap\ out} + 0,8 \times Q_{cap\ med}$ presente nas formulações do valor cobrado pela captação de água bruta nas bacias do Paraíba do Sul e do PCJ, empregada para promover a redução de reservas de água, pela qual o usuário solicita outorga em volumes superiores ao que será utilizado, pode não atingir esse objetivo, considerando as seguintes hipóteses, com base em um volume de captação de $100\text{m}^3/\text{s}$, que corresponderia ao valor outorgado:

- ✓ hipótese 1: caso o usuário utilize 100% desse valor, o preço unitário irá incidir em $100\text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ hipótese 2: caso o usuário só utilize 60% do total outorgado (ou seja, foi medido apenas $60\text{ m}^3/\text{s}$), o preço unitário irá incidir sobre $68\text{ m}^3/\text{s}$ mais $0,7 \times Q_{cap\ out} - Q_{cap\ med}$, totalizando $78\text{ m}^3/\text{s}$.

Desta forma, pode-se observar que do usuário que não realiza reservas de água, será cobrado um valor maior, já que os coeficientes não são diferenciados para volumes medidos iguais ou inferiores aos volumes outorgados.

Algumas diferenciações entre as metodologias apresentadas são identificadas. Conforme Amorim *et al.* (2011), os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos para a bacia do rio Doce não consideram a parcela consumo como ocorre nas bacias do rio Paraíba do Sul, dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, e do rio São Francisco, que seria a diferença entre a vazão de água outorgada para captação e a vazão de efluentes lançada no corpo hídrico. O CBH-Doce decidiu excluir essa parcela no equacionamento da cobrança por entender a complexidade operacional para calcular o volume de consumo quando há captações e lançamentos em rios de diferentes domínios. Além disso, existe a dificuldade de se obter o consumo do usuário irrigante, pois o retorno da água ao corpo hídrico, em geral, ocorre por infiltração e de forma difusa, sendo de difícil mensuração, segundo o autor.

2.3.7 Cobrança em bacias com águas de dominialidade da União e do Estado

Em um grande número de bacias hidrográficas brasileiras, verifica-se a existência de águas de domínio da União e dos Estados, o que implica em comportar arranjos distintos da cobrança pelo uso da água bruta dentro destas bacias, acarretando dificuldades para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que os governos federal e estadual podem instituir normas

próprias para regular o assunto das águas sob a sua jurisdição.

Pela nossa legislação, a União e os Estados podem legislar de forma autônoma quanto aos critérios de cobrança pelo uso da água, aos valores monetários a serem fixados, ou à destinação dos recursos obtidos. Com isso, conforme o domínio das águas, o produto financeiro auferido constitui receita da União, através da ANA – Agência Nacional de Águas, ou dos Estados (MARTINEZ JR. e TOLEDO, 2004). Além disso, existem as diferenças geográficas, socioeconômicas e principalmente político-institucionais entre as bacias interestaduais, o que induz a implantação da cobrança nos mais variados formatos e arranjos institucionais (CEIVAP, 2001).

Desta forma, se faz necessário tratar a questão complexa da dicotomia entre os sistemas de cobrança federal e estadual (CEIVAP, 2001). O estudo desenvolvido pela CEIVAP (2001) ainda retrata que esta situação, apesar de ser possível do ponto de vista legal, não é o ideal, pois gera distorções quanto ao aspecto da equidade na implantação do instrumento da cobrança, dificultando a aceitação da mesma aos usuários da bacia.

Para Martinez Jr. e Toledo (2004), a aplicação da cobrança pela utilização da água só poderá ser feita de forma coerente mediante uma ampla articulação entre a União e os Estados. Nesta articulação, os autores destacam a importância da compatibilização entre os critérios e valores aplicados, bem como implementar a cobrança de forma simultânea em toda a bacia para evitar situações de inequidade e rejeições.

O estudo da Granziera (2007) destaca que além da divisão do domínio das águas entre a união e os estados, o domínio das águas subterrâneas, que pertence aos Estados, também constitui o grande desafio da gestão dos recursos hídricos com base na bacia hidrográfica. Como exemplo, o estudo faz referência a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, na qual se aplicam aos recursos hídricos dessa bacia normas federais e estaduais de seis estados e do Distrito Federal. Em consequência disso, ocorre a necessidade de entender o conteúdo da legislação federal e de cada conjunto de normas estaduais, bem como de verificar as possibilidades de arranjo institucional para Agências de Águas ou Entidades Delegatárias, seja com a Agência Nacional de Águas – ANA, para os corpos hídricos de domínio da União, seja com os órgãos e entidades de controle de recursos hídricos estaduais, para as águas de domínio dos Estados.

Assim como em várias bacias hidrográficas do Brasil, o estado da Paraíba também apresenta bacias, cujas águas possuem dupla dominialidade, a exemplo da Bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu e a Bacia do Rio Paraíba.

No Estado da Paraíba, a cobrança pelo uso da água bruta está em fase de implantação e

o seu sistema de gerenciamento deverá estar preparado para enfrentar os desafios, nos aspectos técnicos, político e administrativo, mediante a necessidade de interação entre a cobrança pelo uso da água em rios ou reservatórios de domínio estadual e federal, que se fazem presentes em suas bacias.

Outro grande desafio para o Estado está em estabelecer metodologias de cobrança e preços com base na teoria econômica, para que a cobrança cumpra totalmente o seu papel de promover o uso racional e sustentável dos recursos hídricos por parte dos usuários, e não apenas parcialmente, sua função financeira.

2.3.8 Publicações sobre o instrumento da cobrança no Brasil

Fontes e Souza (2004) realizaram a aplicação de um modelo de cobrança sobre o uso da água que considera como princípio base a manutenção da qualidade ambiental medida pela adequada gestão da escassez de água e, compondo a busca dessa qualidade, a racionalização econômica e a viabilização financeira. Para os autores o modelo de cobrança proposto procura garantir que o agente econômico não possa ter capacidade de pagar pela degradação que este está causando ao meio ambiente, ajudando desta forma a política de outorga do direito de uso da água e a observância da capacidade de suporte do meio.

Moraes *et al.* (2008) apresentaram um modelo econômico-hidrológico integrado para apoio à gestão de recursos hídricos que integra grande número de relações físicas, econômicas, institucionais e agronômicas, com o objetivo de subsidiar a alocações ótimas da água, entre os usos alternativos e a utilização de vinhoto para fertirrigar as áreas plantadas de cana. O modelo foi aplicado na bacia do rio Pirapama, Estado de Pernambuco. O sistema formulado atende a múltiplos objetivos: sociais, econômicos, ambientais e a alocação da água é condicionada pelo balanço hídrico e pelas restrições de qualidade. Conforme a autora a multiplicidade das interações existentes entre os diversos usos da água, sob os aspectos técnicos, de quantidade e de qualidade, bem como econômicos e sociais, podem ser modelados de forma integrada, subsidiando os tomadores de decisão em uma alocação da água mais justa.

Estudos referentes à cobrança pela captação e pelo lançamento de efluentes foram desenvolvidos para a bacia do Rio Paraíba, envolvendo propostas de modelos de cobrança, ponderação de coeficientes e avaliação dos impactos da implementação do instrumento para os diversos setores de usuários (MACEDO, 2006; SILVA, 2006; UFSA/UFCEG, 2008),

descritos a seguir.

Macedo (2006) simulou a cobrança pela retirada de água bruta na Bacia do Rio Paraíba e avaliou as arrecadações geradas e os impactos econômicos nos usuários de diversos segmentos, mostrando uma maior sensibilidade ao setor de irrigação à cobrança devido ao custo de produção, enquanto que o setor industrial teve uma maior aceitabilidade por obter menor impacto no custo de venda com a implementação da cobrança. O modelo aplicado no estudo associou a cobrança pela retirada com a cobrança pelo lançamento. O autor ainda concluiu que a implementação da cobrança deve ser gradual, com a utilização de um modelo básico.

O estudo de Silva (2006) realizou a simulação da cobrança pelo lançamento de efluentes em uma Bacia Hidrográfica na Paraíba, considerando a limitação dos dados existentes, para quatro categorias de usuários: população urbana, população rural, setor industrial e setor irrigação. Os impactos desta cobrança sobre os usuários, também são verificados. Para a autora, os impactos da cobrança na renda mensal são atenuados com o aumento da renda e com a quantidade de pessoas por domicílio. Porém, de um modo geral conclui-se que o impacto é considerado pequeno para o setor industrial e, portanto, acredita-se na possibilidade da aceitabilidade da cobrança pelo setor. Foi proposto um Modelo Intermediário de Cobrança Pelo Lançamento de Efluentes (MICLE) para a bacia, devido este ter apresentado impactos considerados aceitáveis para o estudo de caso e uma cobrança per capita média de R\$ 0,80/mês, viabilizando a implantação do instrumento cobrança, em particular, pelo lançamento de efluentes para a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.

UFSM/UFCEG (2008) simularam a aplicação do instrumento cobrança pelo uso da água bruta em escala real para duas bacias hidrográficas brasileiras com diversidade de realidade econômica, social e política: bacia do rio Santa Maria-RS e bacia do Rio Paraíba - PB. Com base na revisão de literatura feita foi proposto uma adaptação de um modelo genérico à bacia do rio Paraíba, com estágios diferenciados da cobrança no que se refere à adoção dos coeficientes de ponderação. Desta forma obtiveram modelo para retirada de água bruta em estágios “básico” e “avançado” no que se refere à adoção dos coeficientes. O mesmo foi feito para o modelo pelo lançamento de efluentes. Entre os aspectos analisados na pesquisa, observaram que a estipulação de valores para coeficientes de ponderação, depende muito das condições da bacia, do propósito do coeficiente no modelo, e se o valor unitário de referência encontrado para o parâmetro de qualidade é coerente.

Estudos para analisar a aceitação da aplicação do instrumento da cobrança pelo uso da água também foram realizados por Nunes e Magalhães Jr. (2009) na porção mineira da bacia

do rio Paraíba do Sul, visando levantar reflexões sobre as perspectivas de sua efetivação no Brasil. O trabalho foi realizado com base em um estudo qualitativo, no qual foram aplicadas entrevistas a membros do CEIVAP- Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul de diversos setores e empresas pagadoras pelo uso da água. Os resultados demonstraram que já estão sendo adotadas medidas da redução do consumo de água e lançamento de efluentes por alguns setores usuários e que existe uma aceitação e compreensão do instrumento de cobrança pela maioria dos entrevistados. Os entrevistados sugeriram que o Comitê ampliasse o conhecimento do processo de aplicação da cobrança para uma parcela maior da sociedade. Os autores ainda concluem que não se deve esperar que a cobrança seja a grande solução das mazelas cometidas durante séculos sobre as águas da bacia e que o tempo trará as respostas relativas à efetividade deste instrumento em atender os objetivos propostos na legislação, por meio da avaliação do quadro ambiental da bacia.

Silveira *et al.* (2009) objetivaram distinguir no artigo, a cobrança pelo serviço de drenagem urbana e a cobrança pelo uso da água e propor uma estratégia para aplicá-las de forma articulada e efetiva, procurando minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. A proposta do trabalho foi aplicada na Bacia do rio Santa Maria/RS. Desta forma, definiram que a cobrança da taxa pelo serviço é interna ao município, devendo ser paga pelos proprietários dos imóveis ao município; e a cobrança pelo uso da água é externa ao município, referente aos impactos proporcionados pelo município à bacia hidrográfica. Os resultados das simulações indicaram uma relação de aproximadamente 1/20 por habitante na comparação Cobrança/Taxa para a bacia como um todo. Concluíram os autores que as duas cobranças geram arrecadações, viabilizando investimentos em ações estruturais e, principalmente, não estruturais para a drenagem urbana e que serão repassadas ao município e ao comitê de bacia, respectivamente.

Souza *et al* (2010), aplicaram dois modelos de cobrança pelo uso de recursos hídricos subterrâneos na bacia sedimentar costeira da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba. O primeiro modelo aplicado foi do tipo arrecadatório, onde foram definidos coeficientes de ponderação que buscam adequar os valores da cobrança às características de sazonalidade, qualidade e disponibilidade das águas subterrâneas. O segundo consistiu em uma aplicação da metodologia de preços ótimos, que poderão subsidiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Estado da Paraíba, conforme os autores. Os resultados obtidos em relação à arrecadação total, decorrente do modelo arrecadatório, mostram que os preços definidos pelo CERH – PB não são suficientes para cobrir os custos de investimentos e programas de gestão. Quanto à aplicação de metodologia econômica para definição de preços ótimos obteve-se

valores para a cobrança bastante diferenciados daqueles preços definidos pelo CERH-PB, observando-se um valor muito inferior para o uso no abastecimento humano, bem próximo para o uso industrial e muito superior para a irrigação, mostrando que a metodologia econômica permite cobrar mais de quem usa mais a água.

Aquino *et al* (2013) avaliaram o impacto da incorporação na cobrança pelo uso da água do custo financeiro da implantação de sistemas de armazenamento e transferência hídrica em atividades de abastecimento d'água. Esta avaliação se fez comparando-se o custo unitário da água bruta com a cobrança atualmente praticada no Ceará. O impacto da recuperação dos custos de infraestrutura de regularização e transferência hídrica foi realizando comparando-se com as tarifas e estudos de capacidade de pagamento anteriormente realizados. A análise dos resultados mostrou que alguns setores têm a possibilidade de contribuir na recuperação dos custos de investimento (abastecimento urbano e indústria) e outros não dispõem desta possibilidade sem sofrerem aumentos importantes nos valores pagos atualmente.

Para Acselrad, *et al.* (2015), no estado do Rio de Janeiro, onde o maior consumidor da água bruta é o setor de saneamento, o desafio da cobrança é atuar na minimização das perdas de água relacionadas aos serviços de produção e distribuição de água tratada, bem como promover o uso irracional da água tratada pelos consumidores atendidos pelo serviço de abastecimento público.

Conclui-se dos trabalhos aqui apresentados, por meio das análises da aplicação do instrumento da cobrança realizadas em diferentes contextos, que se trata de um instrumento poderoso para o gerenciamento dos recursos hídricos, contudo, requerendo ainda profundas discussões e avaliações ao longo de sua implementação para que a forma da realização da cobrança e seus valores traduzam em impactos positivos para os usuários e o meio ambiente, indo de encontro aos objetivos previstos na legislação pertinente.

2.4 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO – SSD

Bana e Costa (1988) consideram que, para ser capaz de tomar decisões em problemas complexos, é importante envolver, manter, rever e atualizar, continuamente, todos os pontos de vista, valores, opiniões e convicções sobre a realidade.

Santos (2009) considera a tomada de decisão envolvendo problemas de recursos hídricos bastante complexa, devido aos vários decisores envolvidos no processo, à qualidade das informações disponíveis e a inclusão de vários critérios, entre outros fatores.

Dentro do processo de decisão, em geral, são estabelecidos conflitos de interesse a partir das visões distintas dos decisores, quer sejam econômicas, quer sociais, políticas, ambientais, etc. Dessa forma, por serem pessoas diferentes é ao menos razoável aceitar que suas habilidades são desenvolvidas de maneira diferente e com comportamentos desiguais (CARVALHO *et. al.*, 2013).

Contudo, nas últimas décadas tem prosperado uma metodologia que vem sendo aplicada, com sucesso, a diversos campos da atividade humana, em que o problema da decisão é muito complexo. Esta metodologia chamada de “Sistemas de Suporte à Decisões – SSD” é também utilizada nos processos de gerenciamento e planejamento de recursos hídricos (PORTO E AZEVEDO, 1997).

Os autores definem o termo “Sistemas de Suporte à Decisões - SSD” com base no conceito adotado por inúmeros autores, alguns por eles citados: Sprague e Carlson (1982), Guariso (1984), Klein e Methlie (1990), Sage (1991), Sprage e Watson (1993) e Turban (1993), como sistemas computacionais que tem por objetivo auxiliar tomadores de decisão na solução de problemas não estruturados ou parcialmente estruturados, isto é, quando não existem soluções através de algoritmos bem definidos. Os autores reconheceram, ainda, que “qualquer coisa” que auxilie a tomada de decisão pode ser considerada um SSD.

Contudo, Porto e Azevedo (1997) ressaltam ainda que o conceito de suporte no sentido de apoio, ou ajuda, é fundamental, pois para eles “um SSD não deve ser construído para tomar decisões, mas para auxiliar o homem em sua missão de decidir”.

Para Zorzal (2009), o SSD é uma metodologia que permite conduzir a solução de problemas de gerenciamento de recursos hídricos de forma mais rápida e eficiente, por auxiliar os tomadores de decisão a refletirem sobre seus problemas de forma mais clara e objetiva.

Porto e Azevedo (1997) afirmam que por meio do uso de ferramentas de suporte a decisão, o planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos podem ser mais bem estruturados, simplificando e facilitando as tomadas de decisões.

Conforme os autores, a concepção dos SSDs tem como componentes principais: a) base de modelos, constituída por modelos matemáticos responsáveis por reproduzirem as características do sistema real; b) base de dados que alimenta a base de modelos e armazena os resultados; c) o módulo de diálogo que faz a comunicação entre o usuário e o computador por meio de interfaces. A Figura 2.3 mostra a estrutura de um Sistema de Suporte a Decisões.

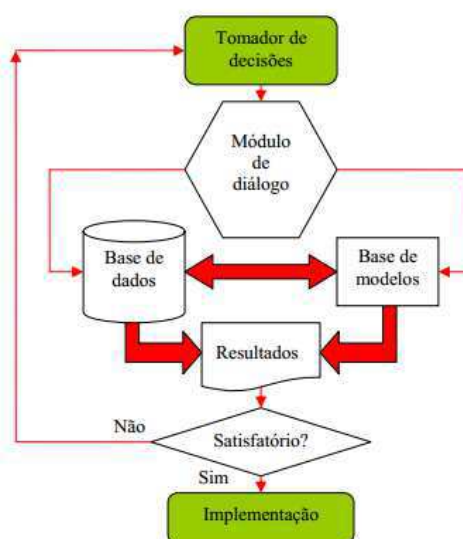


Figura 2.3 - Estrutura de um sistema de suporte à decisão

Fonte: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004) *apud* Zorzal (2009)

Azevedo et al. (2003), avaliam que a utilização de SSDs como auxílio à decisão em relação ao instrumento da outorga pelo uso da água pode contribuir para ajudar a se entender melhor o comportamento dos corpos de água nas análises de aspectos de quantidade e qualidade de água. O processo de implementação de outorga é uma tarefa que envolve diversos aspectos: organizações eficazes, recursos humanos apropriados e base de informações.

Entretanto, Silvino (2008) ressalva que, uma decisão nos tempos atuais dificilmente é tomada em função de um único objetivo, sobretudo expresso exclusivamente de forma quantitativa. O autor observa que, por meio de uma análise multicriterial, fica evidenciado que os processos decisórios envolvem vários critérios e múltiplas decisões que, em geral, geram conflitos de interesse entre os atores do sistema com visões distintas acerca das diretrizes a serem tomadas.

Zuffo (1998) afirma que: “nas últimas três décadas, tem havido um aumento da consciência da necessidade de identificar e considerar vários objetivos, simultaneamente, na análise de soluções de alguns problemas, em particular aqueles derivados do estudo de sistemas de larga escala”.

Para Barbosa (1997), a gestão de recursos hídricos tem passado por um período de reformulação de seus procedimentos de avaliação e de desenvolvimento de técnicas matemáticas de suporte à decisão. Conforme o autor: “esta nova ótica de gestão de recursos hídricos parte da abordagem tradicional de seleção de alternativas, baseada na análise custo-benefício, para uma análise mais abrangente, que considera múltiplos objetivos”. Trata-se da

análise multiobjetivo, cujas técnicas têm-se revelado de grande apoio à decisão e consiste na otimização de diversos aspectos e interesses de diferentes grupos, cada um com objetivos e valores próprios, que geralmente são conflitantes.

Quando há vários atributos de comparação entre alternativas, os quais devem ser avaliados e medidos em diferentes escalas, a análise assume o caráter multicriterial. Ao contrário da abordagem tradicional, em que se consideram apenas critérios puramente econômicos e financeiros; na análise multicritério são considerados, também, aspectos socioeconômicos e ambientais (POMPERMAYER, 2003).

Nesse aspecto, essa metodologia torna-se interessante para dar suporte à tomada de decisões nos processos de concessão de outorga, já que muitas bacias hidrográficas apresentam problemas de disponibilidade hídrica cada vez maiores, exigindo que as análises de pedidos de outorgas sejam feitas com base em critérios que considerem aspectos importantes como econômicos, ambientais e sociais e não apenas os quantitativos.

2.4.1 Análise Multicriterial

Dentre os métodos de análises de decisões, os métodos multicriteriais fornecem uma forma analítica para o problema decisório que, dentro de seu próprio conceito, permite aos decisores estruturá-lo, quer seja com dados quantitativos ou qualitativos, e incluir as devidas preferências, objetivas ou subjetivas, para se chegar a uma solução que seja satisfatória e, ao mesmo tempo, maximize os benefícios oriundos desta tomada de decisão. A estruturação é feita através de sua decomposição em critérios a serem avaliados. Uma análise sistêmica mais eficiente pode ser utilizada, desde que se permita ir decompondo cada critério em subcritérios, hierarquizando a sua representação, a fim de melhor entender e julgar os elementos e processos envolvidos na sua análise. O apoio multicritério à decisão busca relacionar preferências entre as alternativas apresentadas.

A análise multicriterial pode incluir vários aspectos que promovem uma distribuição mais justa no processo de alocação de água, quando considera critérios que fortalecem a equidade, a eficiência e a sustentabilidade, minimizando conflitos. Kolm (2000) entende que uma vez que a decisão de alocação seja feita com base em vários critérios, seja técnico, econômico, social e ambiental, incorporando objetivos múltiplos, diferentes pontos de vista e, até, incertezas, torna-se possível promover uma distribuição mais equitativa.

Pareto (1896) deu início a história da análise multicritério quando examinou um problema de agregação de critérios dentro de um critério simples, definindo o conceito de eficiência entre duas alternativas de decisão. A partir de então, uma variedade de ferramentas matemáticas têm sido desenvolvidas e aplicadas a diferentes atividades (ZUFFO *et al.*, 2002).

Para Silvino (2008), os problemas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) se diferenciam dos demais problemas de otimização pelo sentido que o conceito de solução do problema assume. Segundo o autor: “em problemas com apenas um objetivo procura-se encontrar a solução ótima, ou seja, a solução viável que otimize a função objetivo, cujo valor é único mesmo que existam múltiplas soluções ótimas”. No caso de problemas com múltiplos objetivos quando uma solução é ótima para um dos objetivos não é, em geral, ótima para os demais objetivos. Neste caso surge a noção de solução não dominada, também denominada ótima de Pareto. (CLIMACO *et al.* 2003).

Métodos multicritério de tomada de decisão é uma classe de modelos que lidam com o processo de tomada de decisões na presença de objetivos múltiplos (SAN CRISTOBAL, 2013). Essas ferramentas ou métodos permitem que o tomador de decisão, juntamente com os atores ou agentes envolvidos, no processo de seleção, reavaliem seus pontos de vista e preferências, possibilitando, de certa forma, um aprendizado durante o próprio processo de seleção, à busca de uma solução.

Contudo, existem dois principais problemas que dificultam a tomada de decisão, principalmente em gestão ambiental (REICHERT *et al.*, 2015). A primeira diz respeito a grande diversidade de perspectivas, opiniões e interesses entre os indivíduos da sociedade e a segunda é dividida a complexidade dos sistemas sócio-ambientais, onde é difícil prever com confiança as consequências da escolha das alternativas e assim é muito importante considerar essa incerteza na tomada de decisões.

Na análise multicritério existem alguns conceitos básicos que são importantes defini-los, conforme a literatura:

Stakeholders (atores): são pessoas que tem uma posição no contexto da tomada de decisão. Tem interesses comuns nos resultados das decisões e influenciam na decisão através de seus valores individuais.

Facilitador: o papel do “facilitador” é esclarecer o processo de avaliação e/ou negociação inerente à tomada de decisões e construir um modelo que considere os pontos de vistas dos atores e seus juízos de valores.

Analista: Refere-se ao cientista ou técnico, que tem como papel fundamental ajudar o decisor no processo.

Decisor: é empregado para referenciar o indivíduo ou grupo de indivíduos que intervém no processo, influenciando direta ou indiretamente a decisão.

Pesos: correspondem à importância relativa dos atributos.

Critério: é uma medida base para a efetividade da avaliação, ou seja, permite estabelecer um julgamento de preferência entre as ações.

Conjunto de Critérios: usualmente chamado família de critérios, deve ser coerente com a definição do problema.

Atributo: funcionam como um aspecto mensurável de julgamento, pelo qual uma variável de decisão pode ser caracterizada.

Ação: a representação que um decisor constrói para si da solução de um problema.

Trade-off: valor de compensação entre dois atributos x e y - relação entre o que é preciso perder em x para ganhar uma unidade em y , sem sair da curva de indiferença.

Caracterização na forma cardinal: quando é possível estabelecer-se uma escala numérica de comparação.

Tomada de Decisão: É o processo de escolha ou seleção de alternativas ou caminhos de ação.

Alternativas: conjunto de ações ou estratégias.

Objetivos: É a meta que se deseja atingir ao escolher uma alternativa.

As etapas que devem ser consideradas em uma análise multicriterial, consistem nas seguintes (SOARES, 2003):

- ✓ **Formulação do problema:** refere-se a identificar o que se quer decidir.
- ✓ **Determinação de um conjunto de ações potenciais:** os atores envolvidos definem um conjunto de ações que atendam ao problema objeto da tomada de decisão.
- ✓ **Definição de critérios:** os critérios estabelecidos devem permitir avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente.
- ✓ **Avaliação dos critérios:** formalizada através de uma matriz de avaliações ou tabela de performances, na qual as linhas correspondem às ações a avaliar e as colunas representam os respectivos critérios de avaliação previamente estabelecidos
- ✓ **Determinação de pesos dos critérios:** os pesos atribuem a cada critério sua importância.
- ✓ **Agregação dos critérios:** consiste em associar, após o preenchimento da matriz de avaliação e segundo um modelo matemático definido, as avaliações dos diferentes critérios para cada ação.

Para Braga e Gobetti (2002), os métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão buscam determinar a intensidade global de preferências (subjetivas) entre as alternativas avaliadas em um processo decisório, sob as influências de vários critérios.

2.4.2 Correntes Científicas de Apoio à Tomada de Decisão

As duas correntes científicas de apoio à tomada de decisão surgiram na década de 70: a americana, posteriormente também conhecida como a Multiple Attribute Utility Theory (MAUT) e a europeia ou francesa. Em 1975, a corrente americana promoveu a primeira conferência organizada pelos pesquisadores Hervé Thiriez e Stanley Zionts dando origem posteriormente ao International Society on Multiple Criteria Decision Making.

Já na década de 80, os pesquisadores americanos, se preocuparam em enfatizar a otimização dos processos de análise multiobjetivo como suporte à Tomada de Decisão, auxiliando os Tomadores de Decisão (DM - Decision Markers) (ZUFFO, 1998). Através da vertente Multicriteria Decision Making (MCDM) ou Tomada de Decisão a partir de Múltiplos Critérios, a “Escola Americana” enfatiza o processo decisório, no qual o facilitador faz uma descrição do problema, com a utilização de proposições, e com o auxílio de um modelo matemático, busca uma solução ótima (LARRUBIA, 2010).

Conforme Silvino (2008), os métodos da Escola Americana apresentam os seguintes aspectos em comum: todas as alternativas são comparáveis; presunção de transitividade na relação de preferência e de indiferença e a construção de uma função síntese, que tem por objetivo agrupar os múltiplos critérios em um único critério.

Quanto a corrente europeia, segundo Zuffo *et al.* (2002), ao se diferenciarem da corrente americana, quanto ao caráter do uso e ao conceito dos métodos multicriteriais, passaram a denominar essas ferramentas como “Métodos Multicriteriais de Auxílio à Decisão” (MCDA - MultiCriteria Decision-Aid), formando-se assim a chamada Escola Europeia. O autor ainda afirma que: “esta escola busca, com a utilização dos métodos multicriteriais, a “Solução de Melhor Compromisso”, não necessariamente a solução mais racional como a pregada pela Escola Americana”.

A Escola Europeia, também conhecida por Escola Francesa (em reconhecimento as origens), tornou-se mais comum devido a influência que teve o European Working Group “Multicriteria Aid for Decisions” liderado pelos pesquisadores Bernard Roy e Vanderpooten (DIAS e CLIMACO, 2000).

Os principais conceitos da “Escola Europeia” são: 1) A não existência de um problema isolado; 2) Cada observador vê o problema de forma diferente segundo seu sistema de valores; 3) Dependência do observador para a elaboração e estruturação do problema; 4) A não segregação dos elementos objetivos dos subjetivos, pois, dentro do processo decisório, eles possuem interconexão; 5) O decisor pode modificar os seus pontos de vista iniciais à medida que vai aumentando, durante o processo de seleção de alternativas, seu conhecimento sobre o problema (ZUFFO *et al.*, 2002). Essa escola é mais flexível, pois não admite como premissa a comparabilidade total das alternativas e não impõe ao decisor uma estruturação hierárquica dos critérios (SILVINO, 2008). Ou seja, os métodos MCDA da Escola Europeia valorizam a subjetividade, por meio de um processo construtivo, enquanto que nos métodos MCDM da Escola Americana prevalece o racionalismo por meio da valorização da objetividade dentro do processo decisório.

Apesar de existir vários métodos em Análise Multicriterial (MA) e com diferentes características, de forma geral, estes estão classificados, segundo a Escola Americana, de acordo com as técnicas de resolução do problema. A Escola Europeia costuma classificá-los segundo o tipo de agregação (ZUFFO *et al.*, 2002).

Zuffo (1998) faz ressalva às preocupações dos pesquisadores europeus quanto as metodologias propostas pelos americanos. A primeira diz respeito ao objetivo principal da abordagem americana, que é a de descobrir ou descrever algo que é visto como uma entidade fixa ou sempre presente que é o DM (tomador de decisão). A segunda preocupação levantada é quanto aos esforços dos pesquisadores em buscar a otimização das funções objetivo, de forma a querer propor uma “Solução Ótima”, de forma a impor um resultado ao Decisor, como a “melhor solução” ou a “solução mais racional”. Em muitos casos, consideram ainda a existência de uma função de preferências que representaria o pensamento do decisor e da natureza dos problemas, podendo essas preferências serem divididas em três técnicas da seguinte maneira:

- **Técnicas que geram o conjunto das soluções não dominadas:** neste caso, as preferências do decisor não são consideradas, 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. 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) nesta técnica, as preferências do decisor são captadas progressivamente, oferecendo uma sequência de soluções, que convergem a uma solução final. O autor enumera algumas dessas técnicas: 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:** Conforme Zuffo (1998), a abordagem desta técnica consiste em o analista e o decisor interagirem, 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 citada pelo autor são: Método dos Passos (Benayoun *et al.*, 1971); Método da Programação por Compromisso (Yu, 1973); Ponderação dos Critérios a Priori (Cohon, 1978).

Zuffo (1998) afirma que a maioria dos métodos de solução MCDM adota uma das três técnicas de resolução, sem grandes vantagens ou desvantagem entre elas.

Para os Métodos MCDA, existe mais de uma classificação por tipo de agregação estabelecida pela escola europeia, adotando-se aqui a de Pardalos *et al.* (1995) *apud* Zuffo (1998), que propõem quatro categorias distintas, a saber:

✓ **Programação Matemática Multiobjetivo:**

“Nesta família de métodos estão aqueles baseados na busca das soluções não dominadas ou não inferiores. Outro grupo de métodos também pertencentes à esta família são os métodos baseados na distância e/ou nas condições de otimalidade de Kuhn-Tucker (1951).”

✓ **Teoria da Utilidade Multiatributo:**

“Na categoria dos métodos baseados na teoria MAUT estão aqueles que consistem em modelar as preferências do decisor através de função de valor, que representam a decisão de acordo com certezas do DM”.

✓ **Relações das Aproximações Hierárquicas (Outranking):**

É atribuída a Bernard Roy por apresentar o método ELECTRE I (Elimination et Coix Traduisant la Réalité) que é baseado na representação relacional das preferências do decisor.

A partir daí, outros métodos hierárquicos também foram desenvolvidos. Segundo o autor “esta categoria de métodos é muito utilizada pela “Escola Europeia” por não incluir, em seu arcabouço, um direcionamento ou um “vício”, que seria considerado como sendo as preferências do(s) tomador(es) de decisão representado através de funções”.

✓ **Métodos Baseados na Desagregação de Preferências:**

“Nos métodos pertencentes a esta família os parâmetros são estimados através da análise de todas as preferências do DM, assinaladas para algumas alternativas de referências, que pode ser feita através de comparação por pares, hierarquizações, aproximações baseadas em regressões, etc.”

O autor apresenta em seu trabalho um grande número de métodos pertencentes as quatro classes acima descritas. As metodologias mais utilizadas na literatura como Multicritério de Apoio à Decisão estão abordadas em seguida, conforme Silvino (2008), Barbosa, R. (2008) e Zuffo (1998):

- Métodos da Família ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant La Réalité):

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 quatro últimos inserem na sua estrutura modelagens de preferências mais refinadas. (VINKE, 1992 *apud* ZUFFO, 1998).

- Método PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation):

O método tem como objetivo proporcionar aos “decisores” um melhor entrosamento e entendimento da metodologia de apoio a 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 versões também foram desenvolvidas: PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V, PROMETHEE VI e PROMETHEE GAIA (FLAMENT, 1999 *apud* BARBOSA, R. 2008).

- Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchic Process, AHP):

Conforme Silvino (2008) o método “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”. Os problemas são decompostos em níveis

hierárquicos, determinando uma medida global para cada alternativa, através da síntese dos valores dos agentes de decisão (matriz tecnológica).

- **Método Macbeth** (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*): Desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick em 1994, o método constrói uma função critério e determina os parâmetros relacionados com a informação (Flament, 1999). Para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções o método requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor (COSTA *et al*, 2004 *apud* SILVINO, 2008).

- **MacModel:**

É um software de apoio à decisão multicritério. Permite análises de sensibilidade, e tem dois métodos de negociação para apoio a situações de multidecisor. Ele também visa criar uma estrutura interativa que permite ajudar o decisor a visualizar as estruturas dos critérios, os efeitos das ponderações adotadas e as comparações entre alternativas.

- **PROBE** (*Preference Robustness Evaluation*):

Sistema multicritério de apoio à decisão que permite calcular os valores globais de alternativas utilizando o modelo aditivo hierárquico. Distingue-se de outras aplicações por permitir avaliar a robustez dos resultados do modelo aditivo hierárquico quando apenas se consideram restrições lineares nos coeficientes de ponderação relativa dos critérios em cada nível da árvore, nomeadamente, a ordenação ou intervalos de variação desses coeficientes.

- **VIP Analysis:**

Trata-se de um software de apoio à decisão para analisar situações em que se pretende escolher a mais satisfatória entre um conjunto de alternativas, de acordo com os desempenhos destas em múltiplos critérios de avaliação. O método permite aos agentes de decisão aumentarem seu poder de discernimento por disponibilizar várias ferramentas de análise num só programa, possibilitando estudar a situação de decisão através de diferentes perspectivas e níveis de detalhe (DIAS E CLIMACO, 2000).

- **Programação por Compromisso:** é um método especializado na técnica da distância geométrica, em que as distâncias que foram selecionadas representam as preferências ordenadas do DM, ou seja, uma otimização pela minimização das distâncias (ZUFFO, 1998). O método classifica as alternativas através da medida da sua distância em relação à solução considerada a melhor (GONÇALVES *et al.*, 2003).

2.4.3 Experiências nacionais e internacionais em utilização de métodos multiobjetivos e multicriteriais

Abu-Taleb e Mareschal (1995) aplicaram o método multicritério PROMETHEE V para avaliar e escolher entre uma variedade de alternativas viáveis em promover o potencial desenvolvimento de recursos hídricos na região do Oriente Médio.

Zuffo *et al* (2002) objetivaram avaliar os resultados de diferentes métodos multicriteriais que incorporam características ambientais, sociais, técnicas e econômicas comumente utilizadas em estudos de planejamento de recursos hídricos supondo uma visão ecossistêmicas do meio. A área de estudo foi a bacia do Baixo Cotia, localizada na Região Metropolitana de São Paulo. Foram aplicados cinco diferentes métodos de auxílio à tomada de decisão: ELECTRE II, PROMETHEE II, Programação por Compromisso (CP), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) e o método Analítico Hierárquico (AHP), concluindo que a inserção de critérios ambientais e sociais foi viável, possibilitando a melhoria do processo de tomada de decisão para a escolha de alternativas.

Jardim e Lanna (2003) descreveram e compararam algumas técnicas de análise multiobjetivo como importante meio de apoio à tomada de decisões diante dos problemas de Gestão das Águas em um Comitê de bacia do Rio Grande do Sul. Na análise desenvolvida através dos métodos ELECTRE I e II, Programação de Compromisso e Analítico Hierárquico, consideram-se a participação de múltiplos decisores, a questão da subjetividade e o reconhecimento da incerteza como inerente ao processo.

Khalil *et al* (2005) investigaram a eficácia de um tratamento hidrotérmico para a destruição dos compostos orgânicos de resíduos de lamas por meio de dois métodos MCDM: PROMETHEE e GAIA, utilizados para o tratamento da uma grande matriz de dados.

Braga e Ribeiro (2006) fizeram uso de metodologia multicriterial e multidecisor, na qual os critérios e a avaliação global foram expressos em categorias linguísticas inspiradas na Lógica Difusa, nas quais o decisor enquadra sua avaliação, ponderando-a ou não. A análise das avaliações permitiu identificar o perfil de comportamento dos decisores frente às alternativas, com a escolha da(s) alternativa(s) mais desejável(s) para implantação. O estudo foi empregado no município de Campina Grande, PB.

Hermans *et al.* (2007) aplicaram o PROMETHEE para auxiliar os debates entre os stakeholders sobre as alternativas de gestão para o rio do Alto Rio Branco de Central Vermont, no nordeste dos Estados Unidos. Foi desenvolvida uma lista de critérios que permitam avaliar alternativas de gestão do rio, e obter as preferências para classificar e comparar as preferências individuais e do grupo.

Ribeiro *et al* (2008) apresentam uma análise multicriterial de alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda de água, considerando a sua implantação hipotética em um bairro da cidade de Campina Grande na Paraíba. Com base em entrevistas domiciliares e projetos de engenharia o estudo avaliou a seleção da(s) melhor(es) alternativa(s) para a redução do consumo de água do setor, de acordo com critérios sociais, econômicos, ambientais, e técnicos. Os resultados do trabalho mostraram a possibilidade de reduzir, em até 78,49%, o consumo anual de água do setor, com a adoção das alternativas selecionadas pelo modelo multicriterial.

Bottero e Mondini (2008) avaliaram um projeto de transformação urbana na Itália, a partir de um ponto de vista da sustentabilidade. O método multicriterial ANP foi utilizado para definir as prioridades de julgamentos individuais e oferece um quadro geral para lidar com decisões complexas, fornecendo uma comparação das diferentes opções. Os autores concluíram que o procedimento descrito no artigo é adequado para lidar com a complexidade do problema, de forma transparente, levando em consideração a multiplicidade de aspectos envolvidos e a presença de vários intervenientes no processo de tomada de decisão.

Barbosa, R. (2008) analisou 11 alternativas e 8 critérios através do método PROMETHEE para verificação da melhor ordem de prioridade das demandas a serem outorgadas no Sistema Curema-Mãe D'Água, na Paraíba.

No artigo apresentado por Yahaia *et al.* (2010), tem-se o uso da avaliação multicritério (MCE) e de um Sistema de Informação Geográfica (GIS) para analisar a inundação de áreas vulneráveis na bacia do rio Hadejia Jama'are, na Nigéria. A pesquisa utilizou o método AHP para calcular os pesos de cada critério (fatores responsáveis por inundações). No final, mapas das regiões vulneráveis a enchentes foram gerados com objetivo de ajudar os decisores a avaliar a ameaça representada pelo desastre.

No trabalho desenvolvido por Aragonés-Beltrán *et al* (2010) foram utilizados dois modelos de decisão multicriterial ANP diferentes: um modelo de hierarquia (AHP, que considera como um caso particular da ANP) e outro modelo baseado em rede. A aplicação da metodologia visou auxiliar os tomadores de decisão na escolha do melhor local para a disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) na área metropolitana de Valência (Espanha). Os principais resultados desta pesquisa comprovaram que a ANP é uma ferramenta útil para ajudar os técnicos para fazer o seu processo de decisão rastreável e confiável, conforme afirmou os autores.

Rodrigues *et al* (2011) aplicaram um modelo linear de otimização diferenciado (CURI *et al*, 2011) para analisar a possibilidade de concessão ou não de vazão para outorga por meio

do conceito de sub-bacias de contribuições individuais por reservatório. Foi considerado tanto os pedidos de outorgas com vazões constantes quanto variáveis mensalmente, sendo, portanto, mais adequado para retratar as características das demandas hídricas da bacia. A metodologia foi avaliada na Bacia do Rio Piancó, situada na Paraíba. Para os autores as análises indicaram que o modelo de outorga apresentou resultados coerentes, podendo ser utilizado em outras bacias com reservatórios.

O trabalho realizado por Zuffo (2011) propôs a incorporação da aritmética fuzzy em dois métodos multicriteriais muito utilizados em planejamento e gestão de recursos hídricos, os métodos “Compromise Programming” (CP) e “Cooperative Game Theory” (CGT), que deram origem ao Fuzzy-CP e ao Fuzzy-CGT. Conforme o autor, os métodos adaptados possibilitaram a adoção de critérios abstratos ou com melhor representação de seus possíveis intervalos de variação, contribuindo para uma melhor interpretação do problema, como também do reconhecimento de sua fragilidade.

Santos *et al* (2011) apresentaram um modelo de otimização multiobjetivo, baseado em programação linear, para o estudo integrado da operação de sistemas de reservatórios e perímetros irrigados, além de outros usos da água, estabelecendo a alocação ótima dos recursos naturais existentes. O modelo contemplou os aspectos econômicos e sociais, como a maximização da receita líquida e da geração de empregos oriunda da agricultura irrigada. As não linearidades das funções objetivo e dos processos representados por cada restrição foram implementadas através do uso combinado de técnicas matemáticas de linearizações, conforme explicado pelos autores.

Roobahani *et al* (2012) propuseram um novo método de Tomada de Decisão Multicriterial baseado na combinação de dois métodos: PROMETHEE e métodos Multi-atributo com domínio dos critérios de decisão. Foi empregado em um sistema de abastecimento de água urbano. O grau de satisfação de cada decisor e os resultados globais do ranking do grupo também foram fornecidos no artigo. Segundo os autores, o método proposto é aplicável para diferentes problemas de tomada de decisões na gestão urbana de abastecimento de água.

No artigo apresentado por Machado *et al.* (2012) foi proposto uma metodologia para alocação quali-quantitativa da disponibilidade hídrica superficial excedente em uma bacia hidrográfica, considerando múltiplos objetivos e restrições, múltiplos usos, e, facilmente adaptável para cenários de racionamento (vazão excedente nula ou negativa). A metodologia foi empregada na bacia hidrográfica do Rio Gramame, contemplando dois cenários hipotéticos de previsão probabilística de precipitação: um acima da média histórica e outro

abaixo da média histórica. Conforme os autores, em ambos os casos houve convergência do algoritmo evolucionário para as regiões mais favoráveis da fronteira de Pareto, sugerindo no primeiro caso, soluções com menores ocorrências de alarmes, e, no segundo caso soluções totalmente viáveis sob todas as restrições consideradas.

Cardoso e Batista (2013) propuseram uma estruturação das etapas de um processo decisório multicriterial, considerando os objetivos da intervenção, o diagnóstico dos meios fluvial e urbano, a concepção de alternativas e a análise de sua viabilidade, a análise de seu desempenho, impactos, custos e atendimento aos objetivos, permitindo, finalmente, realizar a comparação global das alternativas em estudo.

O trabalho desenvolvido por Silvino *et al* (2013) mostrou a aplicação de quatro abordagens de agregação de preferências de múltiplos decisores a um exemplo hipotético de ordenamento de prioridades de pedidos de outorga de água de quatro usuários segundo a avaliação de nove critérios, estruturados hierarquicamente, por sete especialistas da área de recursos hídricos. Para tratar com a indefinição dos pesos do problema, quando se considera apenas a ordem de preferência dos critérios, o modelo VIP-Analysis foi utilizado. Os autores identificaram a necessidade de se definir a priori, com os potenciais decisores, a abordagem que melhor representa o pensamento do grupo.

Monte (2013) analisou o desempenho dos açudes da bacia hidrográfica de Sumé, no estado da Paraíba por meio da preferência dos critérios de cada potencial decisor, aplicando o método multicriterial PROMETHEE II. A agregação de ordenações individuais dos decisores se deu por meio dos métodos de Borda, Condorcet e Copeland.

Carvalho e Curi (2013) estabeleceram uma metodologia baseada no uso da análise multicritério capaz de identificar a situação hidroambiental de 15 municípios paraibanos, utilizando o método Promethee. Como resultado, foi obtida a ordenação entre as cidades mais e menos sustentáveis em relação à questão hidroambiental.

A utilização de modelos de otimização multiobjetivo é aplicada em várias soluções voltadas para o gerenciamento dos recursos hídricos, conforme Elabd e Ghandour (2014). Os autores apresentaram um modelo algoritmo de otimização genética multiobjetivo para alocação de água do reservatório Bigge, Alemanha, assumindo dois cenários de vazões para as estações secas. Os objetivos deste estudo estão voltados para maximizar a produção de energia, os benefícios de recreação, bem como os benefícios da energia produzida, e para minimizar o desvio das metas definidas. A solução de compromisso é apresentada a partir de um conjunto de soluções ótimas de Pareto para ajudar o tomador de decisão quanto a alocação de água no reservatório de Bigge, na Alemanha.

Lima *et al.* (2014) aplicaram dois modelos de apoio à decisão: o AHP e Promethee II para analisar alternativas tecnológicas na gestão e tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) frente a diversas situações envolvendo aspectos políticos, econômicos, ambientais e sociais. No estudo foram obtidos quatro arranjos tecnológicos possíveis de ser aplicados a Região Sul e as demais regiões geográficas do Brasil, conforme os referidos autores.

Balali *et al.* (2014) utilizaram de forma integrada duas técnicas multicriteriais para a tomada de decisão nos processos de gestão de construção. Neste estudo foram envolvidos critérios econômicos e técnicos diferentes para representar a disponibilidade de técnicos e engenheiros experientes, máquinas e materiais de construção necessários, questões de proteção ambiental, vulnerabilidade a desastres naturais, como terremotos, entre outros, relacionados ao local ou país em que o projeto de construção foi desenvolvido.

Akhbarie e Grigg (2014) integraram um modelo de otimização genética a um modelo de simulação de bacias hidrográficas utilizando a ferramenta de avaliação do solo e da água (SWAT) para simular vazões e salinidade. Os resultados do modelo demonstraram que SWAT fornece previsões satisfatórias para a salinidade, com isso, obteve-se uma maior confiabilidade nos volumes de água alocados para fins agrícolas, assegurando a diminuição da vulnerabilidade do sistema quanto à salinidade.

Yang e Yang (2014) desenvolveram um modelo de otimização para alocação de água de um reservatório, assegurando a vazão ecológica necessária à bacia, maximizando o retorno econômico para os usuários, e minimizando as perdas de produção agrícola. A análise de cenários apresentou uma gama de estratégias de gestão para os potenciais socioeconômicos, agrícolas, ambientais e usos da água na bacia hidrográfica e revelou os efeitos da atribuição de pesos diferentes para esses três objetivos. As soluções ótimas subsidiaram os gestores do reservatório para desenvolver estratégias de restauração de ecossistemas aquáticos, estabelecerem regimes sustentáveis de água e realizar uma boa gestão ambiental.

Os trabalhos apresentados mostram a consolidação do emprego de modelos de otimização multiobjetivo e modelos multicriterial para a gestão dos recursos hídricos, em termos de alocação de água e como auxílio aos tomadores de decisão envolvidos nesse contexto. Os métodos multicriteriais apresentam-se de grande importância por permitir assimilar as preferências dos decisores, quando estas se tornam crucial no processo de tomada de decisão. Neste trabalho, a utilização de um método multicriterial de suporte a decisão visa dar suporte ao CBH's nos processos decisórios de priorização da alocação de água por meio do instrumento de outorga.

CAPÍTULO III - MODELOS APLICADOS

Neste capítulo são apresentados os três modelos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. O Método PROMETHEE utilizado com a finalidade de encontrar a melhor ordem de prioridade de atendimento às demandas a serem outorgadas. Em seguida será utilizado o Modelo de Outorga (CURI *et al*, 2011) para verificar a garantia de atendimento destas demandas e o comportamento do sistema. Por fim será aplicado um modelo de cobrança pelo uso da água bruta, proposto neste trabalho.

3.1 MÉTODO PROMETHEE – Preference Ranking Method For Enrichment Evaluation

Numerosas abordagens de métodos multicriteriais foram desenvolvidas não se podendo dizer que existe uma única metodologia que melhor se aplique a todos os tipos de problemas envolvendo tomadas de decisão, em particular na área de recursos hídricos. A escolha do modelo Promethee, a ser aplicado nesse estudo, foi motivada pelo fato deste método se destacar dos demais por envolver conceitos e parâmetros de fácil compreensão e assimilação pelos decisores, além de permitir realizar uma análise mais abrangente e explícita, com respeito a valoração das diferenças entre os critérios, devido à existência das funções de preferência.

A abordagem do método Promethee apresentada a seguir foi baseada na descrição feita por Carvalho (2013).

3.1.1 Descrição do Método Promethee

Conforme Dias *et al* (1998), os métodos da família Promethee pertencem à classe dos métodos de sobreclassificação e baseiam-se em duas etapas: construção de uma relação de sobreclassificação com a agregação de informações entre as alternativas e os critérios; e exploração dessa relação para apoio à decisão.

O método PROMETHEE é um dos métodos da análise multicritério de apoio à decisão (MCDA – *Multi-Criteria Decision Analysis*) mais recentes que foi desenvolvido por Brans (1982) e aperfeiçoado por Vincke e Brans (1985), *apud* Carvalho 2013. Suas principais

características são simplicidade, clareza e estabilidade (BEHZADIAN *et al.*, 2010 *apud* CARVALHO, 2013).

No processo de análise do Promethee, decompõe-se o objetivo em critérios. As comparações entre alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares, através do estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores, buscando uma ordenação do conjunto de alternativas potenciais, através do conceito de dominância (MORAIS *et al.*, 2006).

O método PROMETHEE estabelece uma estrutura de preferência entre as alternativas discretas, tendo uma função de preferência entre as alternativas para cada critério. Essa função indica a intensidade da preferência de uma alternativa em relação à outra, com o valor variando entre 0 (indiferença) e 1 (preferência total) (BRANS *et al.* 1986; ARAÚJO e ALMEIDA, 2009).

A família Promethee tem sido aplicado com sucesso em vários problemas, de diferentes naturezas, possuindo as seguintes versões (BRANS *et al.*, 1986):

- ✓ PROMETHEE I – estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas, utilizado para problemática de escolha.
- ✓ PROMETHEE II – estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, utilizado para problemática de ordenação.
- ✓ PROMETHEE III – ampliação da noção de indiferença, com tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar).
- ✓ PROMETHEE IV – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizado para problemática de escolha e ordenação destinadas às situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo.
- ✓ PROMETHEE V – nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas, com o PROMETHEE II, são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira.
- ✓ PROMETHEE VI – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizada para problemática de escolha e ordenação. Destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
- ✓ PROMETHEE – GAIA – extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo (MORAIS e ALMEIDA, 2006).

Segundo Araújo e Almeida (2009), os métodos da família PROMETHEE se destacam dos demais por envolver conceitos e parâmetros com alguma interpretação física e econômica de fácil compreensão e assimilação pelos decisores. Conforme as autoras, os métodos PROMETHEE I e PROMETHEE II são os mais usualmente aplicados e se diferenciam apenas pela forma de exploração da relação de sobreclassificação valorada. Conforme Mareschal e

Brans (2002) o método PROMETHEE I e II se propõe a apoiar o decisor para os casos de problemática de escolha e o PROMETHEE II nos casos de ordenação.

Braga e Gobetti (2002, p. 396) *apud* Carvalho (2013) descrevem que o PROMETHEE estabelece uma estrutura de preferência entre alternativas discretas. Comumente, a estrutura de preferência é definida através das comparações aos pares de alternativas por:

$$aPb \text{ se } f(a) > f(b)$$

$$aIb \text{ se } f(a) = f(b)$$

Sendo f um critério particular de avaliação a ser minimizado e a, b duas alternativas possíveis. P e I denotam respectivamente preferência e indiferença.

São considerados seis tipos de função de preferência. Braga e Gobetti (2002, p. 398) *apud* Carvalho (2013) explicam cada uma das funções expostas a seguir e na Figura 3.1:

- ✓ Tipo I: Não existe preferência entre a e b , somente se $f(a) = f(b)$. Quando esses valores são diferentes, a preferência é toda para a alternativa com o maior valor.
- ✓ Tipo II: Considera-se uma área de diferença constituída de todos os desvios entre $f(a)$ e $f(b)$ menores que q . Para os desvios maiores a preferência é total.
- ✓ Tipo III: A intensidade das preferências aumenta linearmente até o desvio entre $f(a)$ e $f(b)$ alcançar p . Além deste valor, a preferência é total.
- ✓ Tipo IV: Não existem preferências entre a e b , quando o desvio entre $f(a)$ e $f(b)$ não excede q ; entre q e p , é considerado um valor de preferência médio (0,5); depois de p a preferência é total.
- ✓ Tipo V: Entre q e p a intensidade das preferências aumenta linearmente. Fora deste intervalo, as preferências são iguais ao caso anterior.
- ✓ Tipo VI: A intensidade das preferências aumenta continuamente e sem descontinuidade, ao longo de x . O parâmetro s é a distância entre a origem e o ponto de inflexão da curva.

Critério Generalizado	Parâmetro a Fixar	Critério Generalizado	Parâmetro a Fixar
<p>Tipo 1: Critério Usual</p> $P(d) = \begin{cases} 0 & d=0 \\ 1 & d>0 \end{cases}$	-	<p>Tipo 4: Critério em Níveis</p> $P(d) = \begin{cases} 0 & d < q \\ 1/2 & q < d < p \\ 1 & d > p \end{cases}$	q, p
<p>Tipo 2: Critério em forma de U</p> $P(d) = \begin{cases} 0 & d < q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q	<p>Tipo 5: Forma em V com Indiferença</p> $P(d) = \begin{cases} 0 & d < 0 \\ (d-q)/(p-q) & q < d < p \\ 1 & d > p \end{cases}$	q, p
<p>Tipo 3: Critério em forma de V</p> $P(d) = \begin{cases} d/p & d < p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p	<p>Tipo 6: Critério Gaussiano</p> $P(d) = \frac{1}{2} \left(1 + \tanh \left(\frac{d-s}{s} \right) \right)$	s

Figura 3.1 - Funções de Preferência- Método Promethee

Fonte: Zuffo et al, 2002

A análise dos fluxos positivos e negativos das avaliações é realizada após a comparação paritária entre as alternativas e os critérios. As etapas desta análise são destacadas por Moraes e Almeida (2006), Behzadian *et al.* (2010) *apud* Carvalho, 2013:

I. $\Pi(a,b)$ é o grau de sobreclassificação de a em relação a b , também chamado de intensidade de preferência multicritério. É calculado por:

$$\pi(a, b) = \frac{1}{w} \sum_{j=1}^n W_j F_j(a, b) \tag{3.1}$$

$$W = \sum_{j=1}^n W_j$$

Sendo:

n é o indicador

W_j é o peso do indicador j

$F_j(a,b)$ é a função de preferência, valor que varia de 0 a 1 e representa o comportamento ou atitude do decisor frente as diferenças provenientes da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério, indicando a intensidade da preferência da diferença $g_j(a) - g_j(b)$.

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

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(a,b)}{n-1} \quad (3.2)$$

Quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa.

III. $\Phi^-(a)$ é chamado de fluxo de entrada, representando a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as outras alternativas sobre a . É dado pela expressão:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(b,a)}{n-1} \quad (3.3)$$

Quanto menor $\Phi^-(a)$, melhor é a alternativa.

IV. $\Phi(a)$ é chamado de fluxo líquido de sobreclassificação e representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. Quanto maior $\Phi(a)$, melhor a alternativa. É dado pela expressão:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (3.4)$$

3.1.2 Ordenação da preferência dos Decisores

O PROMETHEE II ordena as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de $\Phi(a)$ (fluxo líquido), e completa entre elas. Geralmente, o decisor solicita uma ordenação completa, o que facilita a decisão final.

A pré-ordem completa do PROMETHEE II é definida por Brans e Mareschal (1998) *apud* Alencar, 2003 como segue:

aPIIb, se $\Phi(a) > \Phi(b)$ (a é preferível a b)

aIIIb, se $\Phi(a) = \Phi(b)$ (a é indiferente a b)

No caso da problemática de ordenação, utiliza-se o PROMETHEE II que fornece diretamente uma ordenação completa enquanto que ao tratar da problemática de escolha, o deve-se observar ao mesmo tempo o PROMETHEE I e II. Muitas vezes os resultados destes se completam harmoniosamente ajudando na decisão final.

O método a ser utilizado é PROMÉTHEE II pela vantagem em requerer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor como pelo analista conforme já mencionado por diversos pesquisadores além se adequar ao objetivo da pesquisa em ordenar as prioridades das demandas para outorga com base em uma decisão multicriterial, envolvendo aspectos econômicos, técnicos, sociais e

ambientais. No capítulo 5, que trata da Metodologia utilizada para pesquisa, será definido o tipo de função de preferência e dos parâmetros utilizados para cada atributo.

3.1.3 Ordenação global dos multidecisores

Depois de estabelecidas as ordenações das preferências de cada decisor é possível fazer a agregação dessas informações em uma ordenação única, que representa as preferências dos multidecisores.

Para o cálculo do fluxo global foi utilizado o tratamento “0-Option” do PROMETHEE II, sem considerar nenhuma função de preferência para os critérios. Neste caso, adotam-se as mesmas alternativas e cada um dos decisores é considerado como um critério. Os valores dos atributos são os fluxos líquidos das decisões individuais.

Segundo Macharis *et al.* (1998) esse tipo de análise se justifica porque os fluxos líquidos de cada decisor já são computados com base nas preferências individuais e são expressos na mesma unidade; portanto, estes valores podem ser diretamente agregados. Em relação aos pesos, considera-se que todos os decisores tenham a mesma importância relativa (BRANS, 2005), neste caso, o peso normalizado de cada decisor é 0,0909.

O fluxo líquido final para cada alternativa, $\varphi(a_i)$, foi calculado de forma direta de acordo com a Equação 3.5.

$$\varphi(a_i) = \sum_{r=1}^R \emptyset(a_i)^r w_r \quad (3.5)$$

sendo r os decisores, $r = 1, 2, \dots, R$, e $\emptyset(a_i)^r$ é o fluxo líquido da alternativa a_i para cada decisor r e w_r . o peso normalizado para cada decisor.

3.2 MODELO DE OUTORGA

Conforme Cruz e Tucci (2005), as principais metodologias que permitem o estudo de alocação de água numa bacia baseiam-se em:

- a. no uso de dados estatísticos das vazões ou de disponibilidade hídrica (Kelman, 1997; Figueiredo, 1999; Euclides et al., 1999; Cruz et al., 1999) como a Q95 (vazão de 95% da curva de permanência) ou a Q7,10 (vazão mínima de 7 dias de duração com dez anos de recorrência);

- b. em modelos de simulação de cenários e disponibilidades da bacia, que operam como sistemas de apoio à decisão (AZEVEDO *et al.*, 1997; SOUZA FILHO, 1999; GALVÃO *et al.*; 2001). [...]
- c. em modelos de otimização dos resultados das simulações, segundo critérios de .outorga definidos pelos tomadores de decisão.

Os principais métodos aplicados nos modelos de otimização são as programações: linear, não linear e dinâmica, além dos algoritmos genéticos. Conforme Barbosa, D. (2008), a programação linear é utilizada quando todas as funções (objetivo e restrições) são lineares; já a programação não linear é usada quando existem funções não lineares, enquanto que a programação dinâmica se aplica quando o problema envolve um processo de decisão sequencial em vários estágios. O uso dos algoritmos genéticos, por ter um tempo de processamento muito elevado, é adequado quando não é possível a aplicação das outras técnicas devido a natureza do problema.

Através de um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em sequência lógica, a simulação tem por objetivo representar e operar o sistema detalhadamente, e fornecer informações para avaliar o comportamento do sistema real. Para a operação de reservatório, a simulação consiste no balanço de massa do mesmo a cada intervalo de tempo. Já os modelos de otimização são algoritmos matemáticos que procuram identificar os pontos máximos ou mínimos da chamada função objetivo, que representa por meio de expressão matemática, os objetivos estabelecidos na operação (BRAGA *et al.*, 1998).

Para Barbosa, D. (2008) “a vantagem das técnicas de simulação está no fato de ser aplicável a sistemas complexos e a desvantagem é que não determina a política ótima de operação”. Os modelos que combinam a simulação e otimização são chamados de modelos de rede de fluxo, para os quais os sistemas podem ser representados como uma rede composta de nós e arcos. A função objetivo é minimizar o custo do transporte do fluxo através da rede. O MODSIM e o Acquanet são exemplos de modelos de rede de fluxo.

Rodrigues (2007), através do Acquanet avaliou alguns critérios para estabelecimento da vazão máxima outorgável: critério baseado em vazão regularizada e critério baseado em quantidade de falhas pré-estabelecidas.

Primeiramente foi analisado o critério da vazão regularizada com 90% de garantia, terminou, concluindo Rodrigues, que o Acquanet não assegurava que as garantias de atendimento às demandas prioritárias fossem constantes, e, portanto, não conseguia convergir para uma solução viável. A justificativa para essa situação é devido a alocação de água ser

realizada para o instante de tempo t em termos das condições do sistema no instante $t-1$. Com isso, uma nova demanda, mesmo com uma prioridade menor, no mês em que há disponibilidade de água nos reservatórios, é suprida todos os requerimentos de outorga, o que pode prejudicar o atendimento de outorgas já concedidas, em meses subsequentes.

A segunda avaliação baseou-se no critério de quantidade de falhas pré-determinadas proposto por Pereira e Lanna (1996), na qual a vazão excedente do atendimento das demandas prioritárias era distribuída entre aquelas de prioridade inferior. Conforme Rodrigues, a metodologia não é eficiente para vazões excedentes muito pequenas.

Nesse sentido, Curi *et al* (2011) propôs um modelo de outorga para ser utilizado em sub-bacias controladas por reservatórios. Trata-se de um modelo de otimização, baseado em programação linear, onde a 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.

Com base na abordagem realizada, para esta pesquisa será utilizado o modelo de outorga desenvolvido por Curi *et al* (2011), transcrito a seguir.

3.2.1 Descrição do Modelo de Outorga

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

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

- Programa principal → Chamado de *outorga* e tem o objetivo de analisar os pedidos de outorga (demandas) solicitados pelo usuário para um dado reservatório. Os dados utilizados pelo programa são obtidos a partir de uma planilha em formato XLS (MS Excel) composta por informações de volume do reservatório, evaporação, afluxos e demandas.
- ✓ Função 1 → Chamada de *AjustAreaVol*, é responsável pelo ajuste da reta à curva Área \times 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.

3.2.2 Dados do Modelo

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

N	=	Horizonte de operação em meses
$D(t)$	=	Demanda no mês t (pedido de outorga)
$Q(t)$	=	Volume já outorgado para o mês t
S_0	=	Armazenamento inicial
S_{\max}	=	Armazenamento máximo
S_{morto}	=	Volume mínimo ou morto
$I(t)$	=	Afluxo no mês t
$\alpha_1(t)$	=	Prioridade para atender a demanda $D(t)$ ($\alpha_1(1) > \alpha_1(2) > \dots > \alpha_1(N)$)
α_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

3.2.3 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 3.6, a seguir, expressa a função objetivo do modelo de outorga.

$$\min Z = \sum_{t=1}^N [-\alpha_1(t)R(t)] + \alpha_2 \sum_{t=1}^N [Sp(t) + Def(t)]; \quad \alpha_1(1) > \alpha_1(2) > \dots > \alpha_1(N) \quad (3.6)$$

onde t = índice de tempo (base mensal)

3.2.4 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:

$$\begin{aligned}
 S(1) &= S_0 + I(1) - E(1) - R(1) - Sp(1) \\
 S(t) &= S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

onde

S_0 é o armazenamento inicial no reservatório;

$I(t)$ é o volume afluente 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:

$$\begin{aligned}
 S(1) &= S_0 + I(1) - E(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \\
 S(t) &= S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) - Sp(t); \quad t = 2, \dots, N
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

A liberação e o armazenamento, em cada período de tempo, também são relacionados com o déficit hídrico e o vertimento, como mostrado na Figura 3.2.

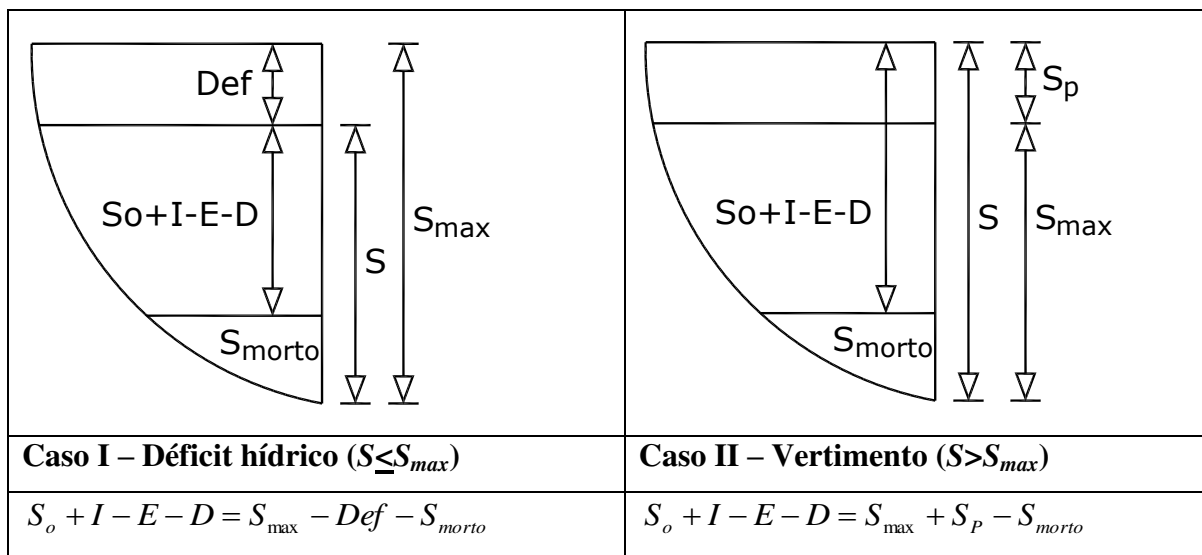


Figura 3.2 - Esquema dos casos de ocorrência de déficit hídrico e vertimento.

Fonte: Rodrigues (2007)

Para o caso I (déficit hídrico), o volume armazenado é menor que o máximo, logo se pode 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 (3.9) descreve a inserção desses parâmetros no modelo.

$$\begin{aligned} S_0 + I(1) - E(1) - D(1) &= S_{\max} - Def(1) + Sp(1) \\ S(t-1) + I(t) - E(t) - D(t) &= S_{\max} - Def(t) + Sp(t); \quad t = 2, \dots, N \end{aligned} \quad (3.9)$$

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

Entre as restrições que deverão ser consideradas no modelo está a de alocação de água. De acordo com essa restrição, a alocação de água, em um dado mês, não poderá ser negativa e nem maior que a demanda $D(t)$ (pedido de outorga). A Equação (3.10) abaixo descreve essa restrição:

$$0 \leq R(t) \leq D(t); \quad \forall t \quad (3.10)$$

c) Volume

A Equação (3.11) 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_{morte}) e menor ou igual ao armazenamento máximo (S_{\max}). Esta equação induz a ocorrência de vertimento.

$$S_{\text{dead}} \leq S(t) \leq S_{\max}; \quad \forall t \quad (3.11)$$

d) Déficit hídrico

A restrição relacionada com o déficit hídrico no mês t em relação ao volume máximo do reservatório está representada pela Equação (3.12). De acordo com a equação esse déficit não poderá ser inferior a zero.

$$Def(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (3.12)$$

e) Vertimento

A última restrição do sistema refere-se ao vertimento do reservatório no mês t . Igualmente ao déficit, o vertimento também não poderá ser inferior a zero. A Equação (3.13) traz essa restrição:

$$Sp(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (3.13)$$

Portanto, o vertimento e o déficit ocorrerão ou não segundo as regras da Equação (3.14). Essas regras estão esquematizadas na Figura 3.2.

$$\begin{cases} R(t) \leq D(t) \text{ e } S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) \leq S_{\max} \Rightarrow Sp(t) = 0 \\ R(t) = D(t) \text{ e } S(t-1) + I(t) - E(t) - R(t) - Q(t) > S_{\max} \Rightarrow Sp(t) = S(t-1) + I(t) - E(t) - Q(t) - D(t) - S_{\max} \end{cases} \quad (3.14)$$

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 (3.15):

$$E(t) = \varepsilon(t) \left[\frac{A(t-1) + A(t)}{2} \right] \quad (3.15)$$

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:

$$A(t) = a_0 + \alpha[S(t) - S_{\text{morto}}] \quad (3.16)$$

onde a_0 é a área definida pela reta para o volume morto (S_{dead}) e α é a declividade da reta (Figura 3.3).

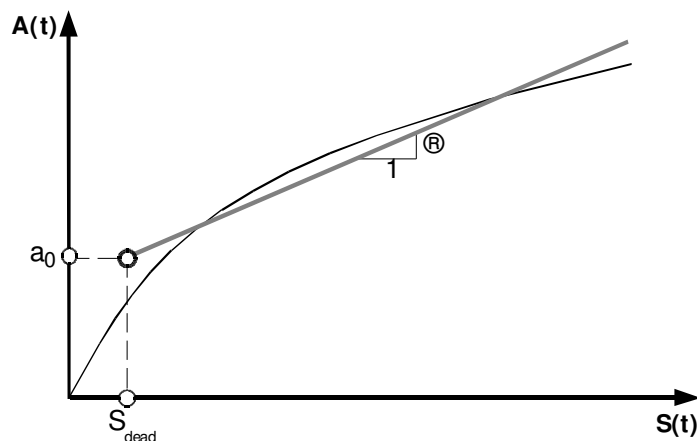


Figura 3.3 - Linearização da curva área-volume
Fonte: Celeste *et al.*, 2006

Combinando as Equações (3.14) e (3.15) tem-se a seguinte expressão para a evaporação em função do armazenamento médio, no início e no final do intervalo de tempo atual:

$$E(t) = e_0(t) + e(t) \left[\frac{S(t-1) + S(t)}{2} \right] \quad (3.17)$$

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:

$$e_0(t) = (a_0 - \alpha S_{\text{motto}}) \varepsilon(t) \quad (3.18)$$

e

$$e(t) = \alpha \varepsilon(t) \quad (3.19)$$

Inserindo o valor de $E(t)$ da Equação (3.16) nas expressões (3.8) e (3.9), pode-se chegar às formas das Equações (3.20) e (3.21) do balanço hídrico, respectivamente:

$$\left[1 + \frac{e(1)}{2} \right] S(1) = \left[1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 + I(1) - e_0(1) - R(1) - Q(1) - Sp(1) \quad (3.20)$$

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

e

$$\left[1 - \frac{e(1)}{2} \right] S_0 - \frac{e(1)}{2} S(1) + I(1) - D(1) - Q(1) - e_0(1) = S_{\text{máx}} - Def(1) + Sp(1) \quad (3.21)$$

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

3.2.5 Fluxograma do Modelo de Outorga

O fluxograma do modelo linear de otimização para avaliação de pedido de outorga está representado na Figura 3.4.

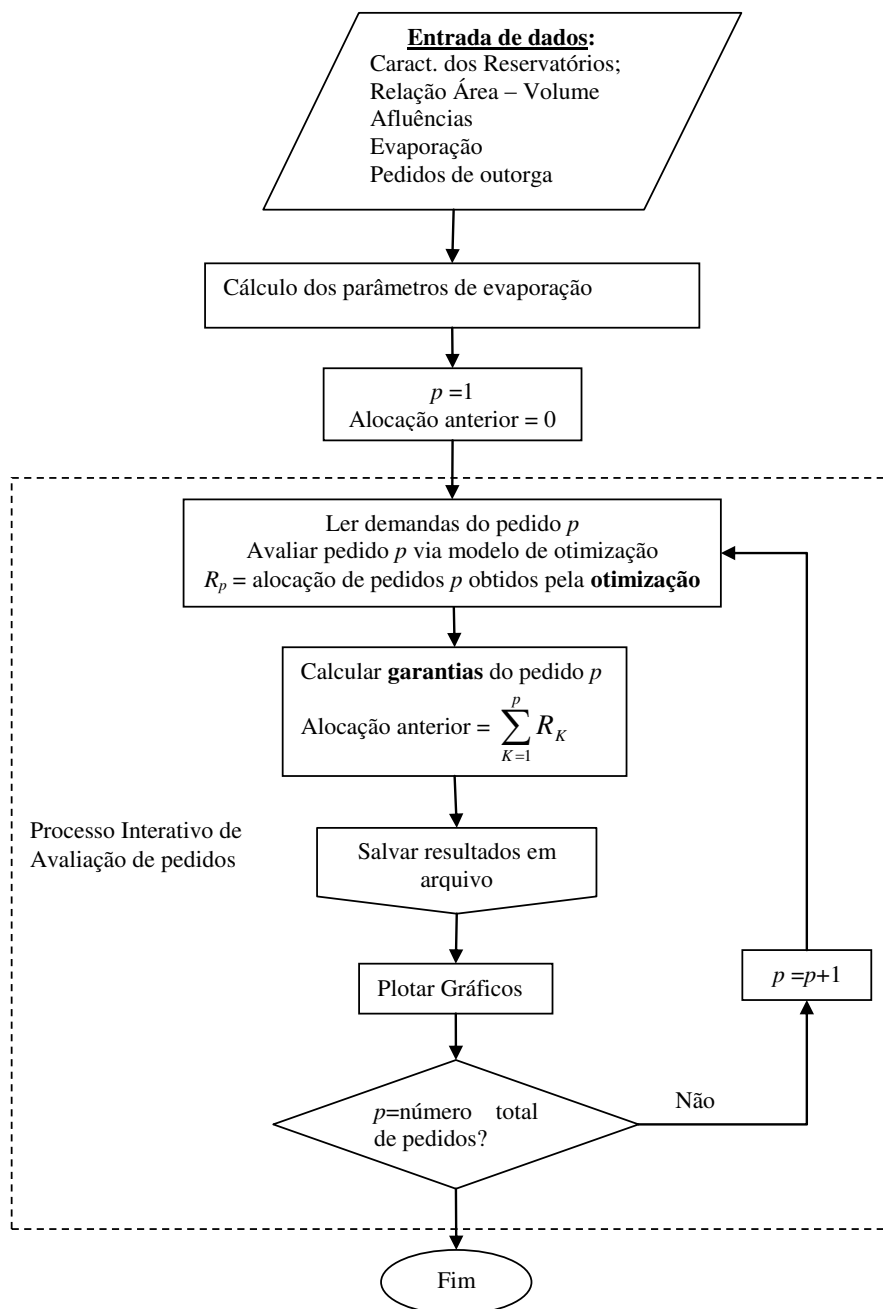


Figura 3.4 – Fluxograma do modelo de outorga.
Fonte: Rodrigues (2007)

3.3 MODELO PROPOSTO DE COBRANÇA

A proposta apresentada neste trabalho seguirá a estrutura dos mecanismos de cobranças existentes, que considera como base de cálculo os volumes outorgados para captação e lançamento. Os modelos utilizados em bacias federais e no Estado da Paraíba foram discutidos no item 2.3.

Neste sentido, propõe-se a seguinte formulação para a cobrança pelo uso da água bruta na bacia hidrográfica do rio Paraíba:

$$\text{Valortotal} = \text{Valorcap} + \text{Valorlanç} \quad (3.22)$$

Onde:

Valortotal = valor anual total de cobrança, em R\$/ano;

Valorcap = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

Valorlanç = valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;

Igualmente ao que foi adotado bacia hidrográfica do Rio Doce não será considerada a parcela consumo no equacionamento da cobrança pelo uso da água bruta na bacia hidrográfica do rio Paraíba também pelo fato da imprecisão para calcular o volume de consumo considerando a dificuldade de se obter retorno da água ao corpo hídrico e conseqüentemente o consumo do usuário irrigante, além de proporcionar uma pequena indução ao uso racional da água, já que o usuário tem pouca sensibilidade quanto a diferença das parcelas captação e consumo. O aspecto do consumo estará contemplado em forma de coeficiente da parcela da captação, conforme será visto em seguida.

Proposta de valor da cobrança pela captação de água bruta

$$\text{Valor}_{\text{cap}} = Q_{\text{cap out}} \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap}} + \max(0, (K_{\text{reserv}} \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}})) \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{extra}} \quad (3.23)$$

Onde:

Valorcap = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

$Q_{\text{cap out}}$ = volume outorgado anual para cada tipo de uso (m³);

PUB_{cap} = Preço unitário para cada tipo de uso (R\$/m³);

$K_{\text{cap}} = X1.X2.X3.X4.X5$

K_{reserv} = Valor máximo do volume anual de água captado medido em relação ao volume anual captado outorgado, definido pelo comitê, por tipo de uso;

$Q_{\text{cap med}}$ = Volume captado (utilizado) medido ou informado pelo usuário (m³);

K_{extra} = variável conforme a relação $Q_{\text{cap med}} / Q_{\text{cap out}}$ conforme descrito a seguir.

Similar ao que foi proposto pelos comitês do Paraíba do Sul e do PCJ e visando desestimular a criação de “reservas de água” propõe-se um tratamento diferenciado para os usuários cujo volume anual de água captado medido for inferior a $K_{\text{reserv}} \times Q_{\text{capout}}$ (volume anual de água captado outorgado). Como exemplo, adotando-se $K_{\text{reserv}}=0,7$, é acrescida a parcela de volume a ser cobrado correspondente à diferença entre $0,7 \times Q_{\text{capout}}$ e Q_{capmed} , com um diferencial em relação às propostas dos referidos comitês quanto a determinação do K_{extra} , o qual poderá ser variável, conforme determinado abaixo:

Para:

$$Q_{\text{cap med}} / Q_{\text{cap out}} \geq K_{\text{reserv}}, \text{ então } K_{\text{extra}} = 1$$

Quando:

$$Q_{\text{cap med}} / Q_{\text{cap out}} < K_{\text{reserv}}, \text{ então } K_{\text{extra}} > 1 \text{ e é calculado pela seguinte fórmula:}$$

$$K_{\text{extra}} = 1 + (K_{\text{reserv}} \times Q_{\text{capout}} - Q_{\text{capmed}}) / Q_{\text{capout}}$$

Coefficientes de ponderação

Os coeficientes de ponderação tiveram por base os estudos apresentados pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê Jacaré (CBH-TJ, 2009) e estudos da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2008), além dos sugeridos pela autora, de forma a considerar características diversas que permitem a diferenciação dos valores a serem cobrados, servindo, de mecanismos de incentivo aos usuários para o uso racional da água.

Coefficientes para Captação

- Natureza do corpo d'água, superficial ou subterrâneo - X1

Por estes índices, pode-se avaliar qual tipo de captação está, no momento, sendo preferencialmente utilizada e com isso, privilegiar ou desestimular sua utilização.

- Classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo d'água no local da captação - X2

Este critério terá maior representatividade após ser estabelecido o reenquadramento dos corpos d'água pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Neste sentido propõe-se:

Classe 1 - 1,02

Classe 2 - 1,0

Classe 3 – 0,98

Classe 4 – 0,95

➤ Disponibilidade hídrica local – X3

Tem como parâmetro de definição o Índice de Ativação da Disponibilidade (IAD), que relaciona a Disponibilidade Atual e a Disponibilidade Máxima de água ($IAD = \text{DispAtual}/\text{DispMáx}$), conforme determinado pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESAs, 2006). Quando o IAD para a área de estudo tem o valor de 0,7, indicando que 70% da água disponível está sendo explorada. Os valores propostos para o coeficiente são:

IAD	X3	Categoria da disponibilidade
$0 < IAD < 0,5$	0,98	Alta
$0,5 \leq IAD < 0,9$	1,0	Média
$0,9 \leq IAD \leq 1,0$	1,02	Baixa

➤ Garantia da vazão outorgada por reservatórios – X4

Propõe-se os seguintes valores para o coeficiente, no sentido de se cobrar menores valores quanto menor for a garantia do volume outorgado:

100% de garantia	$x4 = 1,0$
entre 95% e 100%	$x4 = 0,98$
entre 90% e 95%	$x4 = 0,95$

➤ Eficiência do sistema ou consumo efetivo – X5

Este coeficiente visa incentivar o usuário a fazer uso de sistemas mais eficientes, minimizando as perdas. No caso de usuários irrigantes, o coeficiente será definido com base na eficiência do sistema utilizado, definido na literatura. Quanto a empresas de saneamento, será considerado o percentual de perdas informado em publicações oficiais. O coeficiente visa minimizar a diferença em um volume efetivamente consumido em relação ao volume captado. Os usuários que apresentem baixa eficiência serão mais onerados.

perdas $\leq 10\%$	$x5 = 1,0$
entre 11% e 30%	$x5 = 1,025$
entre 31% e 50%	$x5 = 1,050$
entre 51% e 70%	$x5 = 1,075$
perdas $> 70\%$	$x5 = 1,100$

Proposta de valor da cobrança pelo lançamento de efluentes

$$\text{Valorlanç} = Q_{\text{diluiç}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times K_{\text{lanç}} \times K_{\text{tratament}} + Q_{\text{diluiç}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times (K_{\text{tratament}}^i - K_{\text{tratament}}^{i-1}) \quad (3.24)$$

Onde:

Valorlanç = valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;

$Q_{\text{diluiç}}$ = volume outorgado anual para diluição de esgotos e demais efluentes (m³);

$\text{PUB}_{\text{lanç}}$ = preço unitário cobrado para o lançamento de esgotos e demais efluentes (R\$/m³);

$K_{\text{lanç}} = Y1.Y2.Y3.Y4$

$K_{\text{tratament}} = 1 + (1 - k2 \times k3)$, onde:

K2 representa o percentual do volume de efluentes tratados em relação ao volume total de efluentes produzidos, ou a razão entre a vazão efluente tratada e a vazão efluente bruta;

K3 representa a eficiência de redução da carga orgânica (medida em demanda bioquímica de oxigênio – DBO) do efluente tratado pelo usuário. Valores adotados: K3 = 0,95 (0,50 < DBO < 0,70); K3 = 0,98 (0,70 ≤ DBO < 0,80); K3 = 1,0 (0,80 ≤ DBO ≤ 1,00).

Seguindo os critérios determinados em outros comitês, a cobrança pelo lançamento, diluição, e assimilação de efluentes utilizará o parâmetro DBO_{5,20}.

Caso o usuário, durante o processo de renovação da outorga para lançamento de efluente, apresente uma redução no valor de $K_{\text{tratament}}$ em relação à outorga anterior, o que significaria um aumento do volume de efluente tratado em relação ao total produzido e ou redução da carga orgânica do efluente tratado, o usuário seria beneficiado com um decréscimo do valor cobrado pelo lançamento de efluente ($Q_{\text{diluiç}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times (K_{\text{tratament}}^i - K_{\text{tratament}}^{i-1})$). Desta forma, o usuário seria estimulado a promover melhorias no tratamento dos efluentes por ele produzidos.

Coefficientes de ponderação para lançamento de efluentes

- Classe de uso preponderante do corpo d'água receptor – Y1

Igual ao coeficiente de captação X1, o Y1 terá maior representatividade após ser estabelecido um reenquadramento dos corpos d'água pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Neste sentido propõe-se:

Classe 1 - 1,02

Classe 2 - 1,0

Classe 3 – 0,98

Classe 4 – 0,95

➤ Vulnerabilidade dos aquíferos – Y2

Visa identificar o grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos para evitar lançamento de efluentes em áreas em torno de poços sujeitas à contaminação. Para grau alto, Y2 = 1,05; grau médio Y2 = 1,02 e grau baixo; Y2 = 1,0.

➤ Distância do lançamento – Y3

Para determinado ponto de lançamento considera-se as distâncias: pequena, média e grande, entendendo-se que ao longo das grandes distâncias pode-se haver depurações dos efluentes lançados. Adotar-se-ia os valores do coeficiente de Y3 iguais a 0,95; 1,0 e 1,05 para grande, média e pequenas distâncias do lançamento do efluente, respectivamente, ao ponto de captação.

➤ Local do lançamento – Y4

Diferencia valores para os locais onde serão lançados os efluentes (açudes, rios, mananciais subterrâneos). Permite especificar o local onde será realizado o lançamento de efluente, caracterizando o impacto no meio. O aumento desta variável segue a seguinte ordem: rios: Y4=1,0; águas subterrâneas Y4=1,02; e açudes: Y4=1,05.

Em resumo, a formulação da cobrança pelo uso da água bruta proposta para a bacia hidrográfica do rio Paraíba é apresentada da seguinte forma:

$$\text{Valortotal} = [Q_{\text{cap out}} \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap}} + \max(0, (K_{\text{reserv}} \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}})) \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{extra}}] + [Q_{\text{diluic}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times K_{\text{lanç}} \times K_{\text{tratament}} + Q_{\text{diluic}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times (K_{\text{tratament}}^i - K_{\text{tratament}}^{i-1})] \quad (3.25)$$

CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo está apresentado o recorte geográfico da aplicação da pesquisa, com a caracterização de todo o sistema estudado, ou seja, os principais reservatórios da bacia do rio Paraíba e o eixo leste do PISF.

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

O estudo será desenvolvido no âmbito de uma das bacias hidrográficas do estado da Paraíba. Este Estado está inserido na região semiárida do Nordeste brasileiro e corresponde a 3,63% da área da Região Nordeste, equivalendo a uma superfície de 56.439,84 km². Situado entre as latitudes de 06°00'11,1" e 08°19'54,7" Sul, e as longitudes de 34°45'50,4" e 38°47'58,3" Oeste, a Paraíba limita-se ao norte com o Estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o Estado do Ceará; e ao sul, com o Estado de Pernambuco.

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba, na qual será aplicada esta pesquisa, está entre as onze bacias hidrográficas que compõem a divisão oficial do estado paraibano, conforme mostrado na Figura 4.1, totalizando uma área de 20.069,82 km². O rio Paraíba, além de ser o principal rio da bacia é também o mais extenso do Estado, tendo sua nascente na Serra do Jabitacá – município de Monteiro, e se estende no sentido sudoeste-nordeste até chegar a sua foz no Oceano Atlântico, município de Cabedelo, sendo um rio totalmente paraibano e sua bacia de domínio estadual.

Um dos destaques da bacia dentro do Estado da Paraíba é a sua importância socioeconômica, além de ser a maior bacia de domínio estadual e que abrange mais de 50 % da população do Estado. Apresenta problemas de conflitos setoriais pela utilização da água devido a crescente demanda frente às disponibilidades, além de comprometimento da qualidade da água. Entre os principais açudes públicos da bacia, destacam-se: Poções, Cordeiro, Camalaú, Epitácio Pessoa (Boqueirão) e Argemiro de Figueiredo (Acauã).

Outro destaque é a inserção da bacia do Rio Paraíba no Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco (PISF). Através do Eixo Leste do projeto, será entregue uma vazão de 4,2 m³/s de água, no município de Monteiro. Esta vazão poderá chegar a 10 m³/s, quando houver excesso na barragem de Sobradinho e for de interesse do Estado. Os açudes que serão diretamente beneficiados são: Poções, em Monteiro; Camalaú, em Camalaú; Epitácio Pessoa, em Boqueirão; e Acauã, em Itatuba. Estes reservatórios, com a contribuição das águas do PISF, poderão ser operados de forma a minimizar as perdas por evaporação e vertimento.

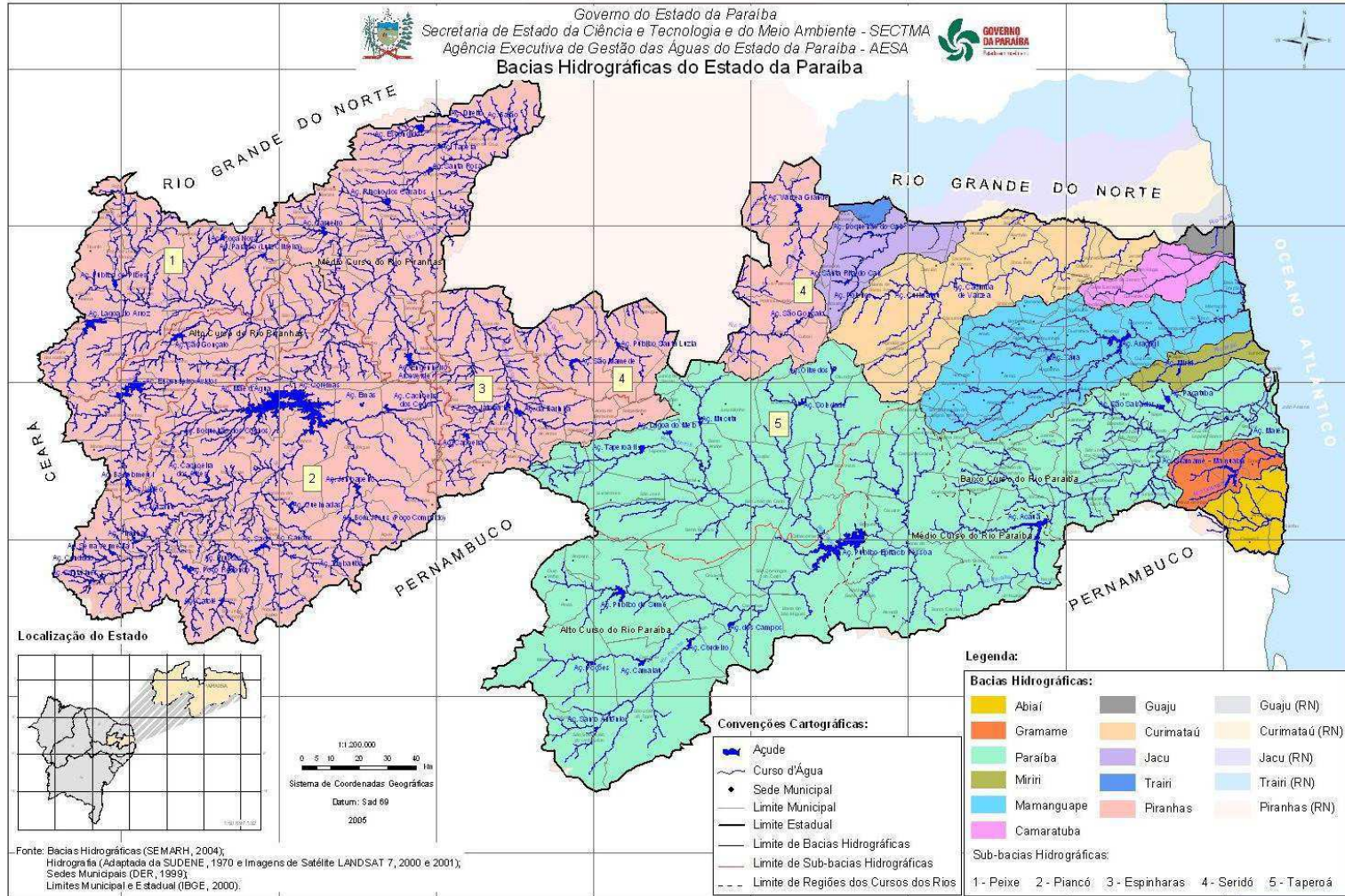


Figura 4.1 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba
 Fonte: AESA, 2006

A hidrografia principal da bacia hidrográfica do rio Paraíba é representada pelos rios: Paraíba, Taperoá, Umbuzeiro, Boa Vista, Ingá, Sucuru (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Hidrografia com os principais cursos d'água da bacia do Rio Paraíba.
Fonte: Marcuzzo *et al*, 2012

A bacia do Rio Paraíba está dividida em uma sub-bacia: Rio Taperoá e três regiões: Alto curso do rio Paraíba, Médio curso do rio Paraíba e Baixo curso do rio Paraíba, descritas com base no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH/PB (AESAs, 2006), e estão apresentadas nos itens a seguir e na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Área e localização da sub-bacia do rio Taperoá e regiões do Rio Paraíba

Sub-bacias e Regiões	Área (km ²)	Latitude	Longitude
Rio Taperoá	5.666,38	6°51'47'' - 7°34'33'' S	36°00'10'' - 37°14'00'' O
Alto Paraíba	6.717,39	7°20'48'' - 8°18'12'' S	36°07'44'' - 37°21'22'' O
Médio Paraíba	3.760,65	7°03'50'' - 7°49'13'' S	35°30'15'' - 36°16'38'' O
Baixo Paraíba	3.925,40	6°55'13'' - 7°30'20'' S	34°47'37'' - 35°55'23'' O

Fonte: AESA (2006)

Região do Alto curso do rio Paraíba

A região do Alto curso do rio Paraíba, limita-se ao sul e a oeste com o Estado de Pernambuco, ao norte com a bacia do Taperoá e a leste com a região do Médio Curso do Rio Paraíba.

Nesta região estão inseridos total ou parcialmente os municípios: Amparo, Barra de São Miguel, Boqueirão, Cabaceiras, Camalaú, Caraúbas, Congo, Coxixola, Monteiro, Ouro Velho,

Prata, São Domingos do Cariri, São João do Cariri, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca, Sumé e Zabelê.

- **Hidrografia:**

Possui como curso d'água principal o Rio Paraíba, que recebe, neste trecho, as contribuições dos rios Monteiro, Sucurú e Taperoá, todos pela margem esquerda.

- **Climatologia:**

De acordo com a classificação de Köppen, a região possui clima do tipo BSw^h, ou seja, semiárido quente, com estação seca atingindo um período que compreende de 9 a 10 meses. As variações de temperatura são de mínima de 18°C nos meses de julho e agosto, e máximas mensais de até 31°C entre os meses de novembro e dezembro. A umidade relativa do ar alcança uma média mensal de 60 a 75%. A insolação nesta região apresenta variações nos valores médios mensais de janeiro a julho, cuja duração efetiva do dia é de 7 a 8 horas diárias, e de agosto a dezembro, da ordem de 8 a 9 horas diárias. A velocidade do vento na região oscila entre 3 a 4 m/s. Os totais anuais da evaporação, medidos em tanque Classe A, variam entre 2.000 a 2.500 mm, com valores decrescentes de oeste para leste. O regime pluviométrico apresenta precipitações médias anuais que variam entre 350 a 600 mm.

- **Vegetação**

Nesta região predominam as vegetações naturais de caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Esta vegetação caracteriza-se pela perda das folhas no verão, exceto em áreas onde existe vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos, arbustos e aglomerados rasteiros.

- **Relevo**

A região do Alto Curso do Rio Paraíba está inserida na escarpa sudoeste do Planalto da Borborema, com as cotas mais altas superiores a 600 metros, em relevo ondulado, forte ondulado e, em algumas áreas, também montanhoso.

- **Solos**

Observa-se, nesta região, a ocorrência de solos do tipo Luvissolo Crômico Vértico, que cobrem todo o cristalino.

Região Médio curso do rio Paraíba

A região do Médio Curso do Rio Paraíba está limitada, ao sul, com o Estado de Pernambuco, a oeste, com a bacia do Taperoá e com a região do Alto Curso do Rio Paraíba, e

a leste, com a Região do Baixo Curso do Rio Paraíba.

Nesta região, encontram-se inseridos, total ou parcialmente, os municípios de Alcantil, Aroeiras, Barra de Santana, Barra de São Miguel, Boa Vista, Boqueirão, Campina Grande, Caturité, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Montadas, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro.

- Hidrografia

A região é drenada pelo Médio Curso do Rio Paraíba, e abrange uma área aproximada de 3.797,58 km², da qual 36,93 km² está fora do Estado. Recebe contribuições de cursos d'água como os rios Ingá, São Pedro e Catolé, além do riacho Bodocongó.

- Climatologia

Segundo a classificação de Köppen, esta bacia apresenta clima BSw'h' (semiárido quente). Na parte leste, o clima é do tipo Asi, caracterizado como semiúmido. As variações de temperatura média mínima na bacia são de 18 a 22°C, ocorrendo nas regiões mais altas do Planalto da Borborema, e a temperatura máxima varia entre 28 e 31°C nos meses de novembro e dezembro. Quanto à evaporação, de acordo com os dados obtidos a partir de tanque classe A, os valores oscilam entre 1.600 e 2.500 mm. Os dados pluviométricos indicam que a região apresenta precipitação média anual variando entre 600 e 1.100 mm, com valores decrescentes de leste para oeste.

A umidade relativa do ar na região varia de 68% a 85%. A insolação ao longo do ano apresenta uma variação, nos meses de janeiro a julho, de 7 a 8 horas diárias, e nos meses de agosto a dezembro, de 8 a 9 horas diárias. Quanto à velocidade média do vento, esta não apresenta valores significativos, ou seja, oscila entre 2 e 4m/s.

- Vegetação

A região do Médio Curso do Rio Paraíba tem como vegetação predominante o tipo Caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Em alguns trechos, a caatinga apresenta-se densa, com vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos e arbustos densos.

- Relevo

O relevo da região que está situada na parte do Planalto da Borborema apresenta três faixas de transição, entre a Depressão Sublitorânea e a região da Serra da Borborema, com setores ondulado, forte ondulado e montanhoso.

- Solos

Os solos mais representativos é o Luvissole Crômico Vértico, predominante em grande parte da região. Os Vertissolos predominam nas partes mais baixa, no entorno do açude de Boqueirão.

Região do Baixo curso do rio Paraíba

A região do Baixo Curso do Rio Paraíba está limitada ao sul com a sub-bacia do Gramame e com o Estado de Pernambuco, ao norte com a bacia do Mamanguape e Miriri, a oeste com a região do Médio Curso do Rio Paraíba e a leste com o Oceano Atlântico.

Esta região abrange, total ou parcialmente, os seguintes municípios: Alagoa Grande, Bayeux, Cabedelo, Caldas Brandão, Campina Grande, Cruz do Espírito Santo, Fagundes, Gurinhém, Ingá, Itabaiana, Itatuba, João Pessoa, Juarez Távora, Juripiranga, Lagoa Seca, Lucena, Mari, Massaranduba, Mogeiro, Mulungu, Pedras de Fogo, Pilar, Queimadas, Riachão do Bacamarte, Riachão do Poço, Salgado de São Félix, Santa Rita, São José dos Ramos, São Miguel do Taipu, Sapé, Serra Redonda e Sobrado.

- **Hidrografia**

A região é drenada pelo Baixo Curso do Rio Paraíba, que deságua no Oceano Atlântico na cidade de Cabedelo, e tem como principal afluente o Rio Paraíba.

- **Climatologia**

Em relação ao aspecto climático, no setor do Baixo Curso do Rio Paraíba vigora o clima do tipo Aw', isto é, úmido conforme a classificação de Köppen. As variações sobre a distribuição de temperatura são de 20° a 24°C em relação aos valores mínimos, e 28° a 32°C quando atingem valores máximos nos meses de novembro e dezembro.

Quanto à evaporação na região, os dados obtidos a partir de tanque classe A indicam valores entre 1.300 a 1.800 mm, com estes decrescendo do interior da região para o litoral.

No contexto geral da região litorânea, os dados pluviométricos indicam que a precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.700 mm, com valores decrescentes para o interior. A insolação ao longo do ano apresenta uma variação, nos meses de janeiro a julho, de 7 a 8 horas diárias, e nos meses de agosto a dezembro, de 8 a 9 horas diárias. Quanto à velocidade média do vento, esta apresenta valores oscilantes entre 2 e 4 m/s. Em termos de valores médios anuais, a umidade relativa do ar medida nesta região varia de 68% a 85%.

- **Vegetação**

Na região do Baixo Curso do Rio Paraíba ainda existem algumas áreas com a vegetação nativa da Mata Atlântica e ecossistemas associados, ou seja, manguezais, campos de várzeas e

formações mistas dos tabuleiros, cerrados e restingas. O restante da região tem sido desmatado para dar lugar a algumas culturas, como cana-de-açúcar, abacaxi, inhame e mandioca.

- Relevo

O relevo da região é plano, predominando áreas de tabuleiro com vales rasos em forma de “U”.

- Solos

Os solos da região são dos tipos Luvisolos Hipocrômico Órtico típico e Litólico nos contrafortes orientais da Borborema na região do Agreste Acaatingado. Faz parte desta classe também, o solo denominado de Terra Roxa Estruturada Similar, reclassificada como Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto.

Sub-bacia do rio Taperoá

A sub-bacia do Rio Taperoá está situada na parte central do Estado da Paraíba, limitando-se com as sub-bacias do Espinharas e do Seridó a oeste (pertencentes à bacia do Rio Piranhas), com a região do Alto Curso do Rio Paraíba ao sul, com as bacias do Jacu e Curimataú ao norte, e com a região do Médio Curso do Rio Paraíba a leste.

Na sub-bacia distribuem-se, completa ou parcialmente, os municípios: Assunção, Barra de Santa Rosa, Boa Vista, Cabaceiras, Cacimbas, Desterro, Gurjão, Juazeirinho, Junco do Seridó, Livramento, Olivedos, Parari, Pocinhos, Salgadinho, Santo André, Serra Branca, São João do Cariri, São José dos Cordeiros, Seridó, Soledade, Taperoá, Teixeira e Tenório.

- Hidrografia

Seu principal rio é o Taperoá, de regime intermitente, que nasce na Serra de Teixeira e desemboca no Rio Paraíba, no Açude de Boqueirão (Açude Presidente Epitácio Pessoa). Drena uma área aproximada de 5.661,45 km², e recebe contribuições de cursos d’água como os rios São José dos Cordeiros, Floriano, Soledade e Boa Vista, e dos riachos Carneiro, Mucuim e da Serra.

- Climatologia

A sub-bacia do Rio Taperoá é caracterizada em termos de clima, segundo a classificação de Köppen, como do tipo BSw^h, isto é, semiárido quente, onde as precipitações médias são baixas e a estação seca alcança um período de 8 a 9 meses.

As temperaturas médias do ar variam de 18 a 22°C, e a temperatura máxima varia entre

28° e 31°C, nos meses de novembro e dezembro. Quanto à evaporação, os dados obtidos a partir de tanque classe A indicam valores que variam entre 2.000 e 2.500 mm. Os dados pluviométricos indicam que a região apresenta precipitação média anual que varia entre 400 e 600 mm.

Em termos de valores médios anuais, a umidade relativa do ar medida na sub-bacia do Rio Taperoá, varia de 60% a 75%. A insolação ao longo do ano é semelhante à verificada no restante da bacia do Rio Paraíba, apresentando uma variação, nos meses de janeiro a julho, entre 7 e 8 horas diárias e, nos meses de agosto a dezembro, de 8 a 9 horas diárias. Quanto à velocidade média do vento, não ocorrem valores significativos, ou seja, oscila normalmente, entre 2 a 4 m/s.

- Vegetação

Predomina na sub-bacia do Rio Taperoá a vegetação natural: Caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Em alguns trechos a caatinga apresenta-se densa, com vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos e arbustos densos. Em outros setores mais secos, a vegetação perde totalmente as folhas no verão.

- Relevo

A sub-bacia do Rio Taperoá apresenta setores ondulado, forte ondulado e montanhoso. As variações hipsométricas da topografia assumem altitudes consideradas relevantes, nas quais os pontos culminantes atingem a cota de 600 m nas escarpas orientais do Planalto da Borborema.

- Solos

O tipo de solo predominante na região da sub-bacia é o Luvisolos Crômico vértico, que cobre todo o cristalino existente na área de abrangência da sub-bacia, além do Planossolos Nátricos relevo plano e suave ondulado, ao norte, ao longo da BR-230, trecho Campina Grande - Juazeirinho.

4.2 DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS ESTUDADOS

O modelo de outorga, bem como a definição das prioridades de uso da água pelos tomadores de decisão foram aplicados para os seguintes reservatórios da bacia do Rio Paraíba: Poções, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa e Acauã, cujas localizações estão apresentadas na Figura 4.3, abaixo. A seleção desses reservatórios para a aplicação da pesquisa foi devido a estes atenderem aos principais sistemas adutores da bacia, além de que receberão as águas advindas do PISF.

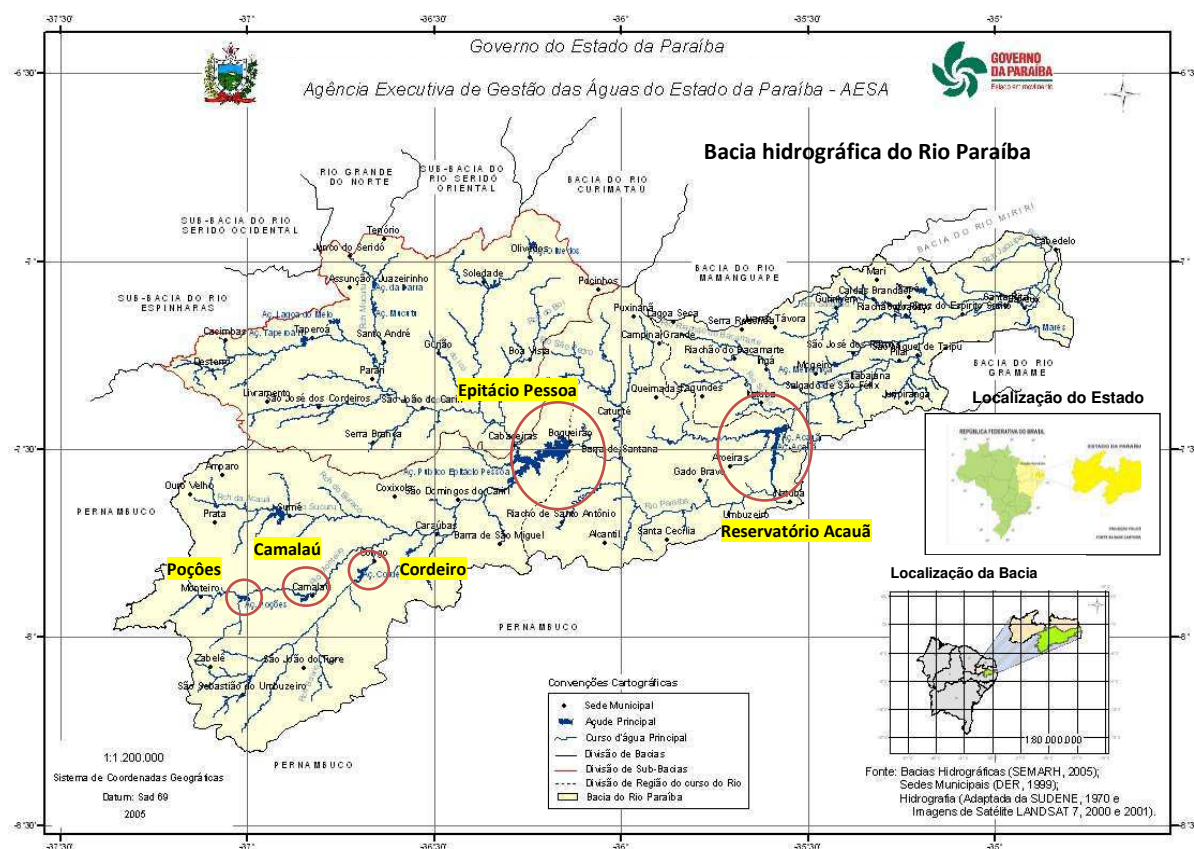


Figura 4.3 - Reservatórios selecionados para a pesquisa
 Fonte: AESA, 2006, adaptado pela autora

Barragem de Acauã

A barragem de Acauã está localizada no município de Itatuba, e tem capacidade de armazenamento 253 milhões de metros cúbicos, classificada como barragem de grande porte. Represa as águas do Rio Paraíba em seu curso médio. O reservatório foi construído com a finalidade para o aproveitamento agrícola, piscicultura e abastecimento humano. O açude de Acauã abastece, por meio de adutora, as populações ribeirinhas dos municípios de Itatuba, Mogeiro, Ingá, Juarez Távora, Salgado de São Félix, Itabaiana, Pilar, São Miguel de Taipú, Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Bayeux, inseridos na região do baixo curso do rio Paraíba (PERH, 2006).

Barragem de Epitácio Pessoa

A barragem do Açude de Epitácio Pessoa está localizada no município de Boqueirão e barra o rio Paraíba em seu alto curso. Situa-se a oeste de João Pessoa, cerca de 50 km da cidade de Campina Grande. O reservatório foi construído com capacidade para armazenar aproximadamente 536 milhões de metros cúbicos, mas devido ao assoreamento, sua capacidade foi reduzida para acumular 411.686.287 m³ de água (PERH, 2006). Originalmente, tinha por finalidade a perenização do rio Paraíba, geração de energia elétrica, abastecimento d'água, irrigação, piscicultura, lazer e turismo. Contudo, destina-se atualmente apenas a atender ao abastecimento urbano por meio de duas adutoras: o sistema adutor de Gravatá com 60 km de extensão que abastece: Campina Grande, Queimadas, Galante, Caturité, Pocinhos, Riacho do Santo Antonio, Barra de Santana, Barra de São Miguel; o sistema adutor do Cariri, com 160 km de extensão, que atende aos municípios de Boqueirão, Cabaceiras, Boa Vista, Soledade, Seridó, São Vicente do Seridó, Olivedos, Juazeirinho, Cubatí e Pedra Lavrada (ARAGÃO, 2008; FARIAS, 2009).

Barragem de Poções

A barragem do Açude Poções está situada no riacho Mulungu, pertencente a região alto curso do rio Paraíba, no município de Monteiro, aproximadamente 15 km a jusante da sede municipal. A finalidade do açude é o aproveitamento para irrigação e abastecimento do município de Monteiro. Acumula um volume de 29.861.562 m³ e será o reservatório receptor das águas do PISF pelo eixo leste, no estado da Paraíba.

Barragem de Cordeiro

A barragem do Cordeiro está localizada no município do Congo, tem capacidade para armazenar 69.965.945 m³, é considerada como o maior reservatório de água da região do Cariri Paraibano. Ela representa a garantia de abastecimento de água para a população de diversas cidades da região e que estão ligadas por adutoras. Os municípios abastecidos pelo açude do Cordeiro são: Congo, Sumé, Monteiro, Serra Branca, São João do Cariri, Gurjão, Prata, Ouro Velho e Amparo.

Barragem de Camalaú

A barragem de Camalaú está localizada em município do mesmo nome, situado na região do alto curso do rio Paraíba. Tem capacidade para acumular 46.437.520 m³ e atende ao sistema adutor que abastece os municípios de Camalaú, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro e Zabelê. Além do abastecimento humano, o reservatório é destinado a piscicultura e a irrigação.

4.3 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PISF) – EIXO LESTE

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional busca assegurar a oferta de água, em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de 390 municípios do agreste e do sertão de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, por meio de dois eixos: Norte e Leste. O Eixo Norte que levará água para os sertões de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte e o Eixo Leste que beneficiará parte do sertão e as regiões agreste de Pernambuco e da Paraíba.

O aspecto histórico e o detalhamento completo do Projeto da Integração do Rio São Francisco com as bacias do Nordeste Setentrional foram explorados por Aragão (2008) e Farias (2009). Nesta pesquisa será realizada uma breve descrição do eixo leste do PISF, o qual levará água a bacia hidrográfica do Rio Paraíba-PB.

O Eixo leste se inicia no ponto de captação no lago de Itaparica, em Pernambuco, com extensão de 220 quilômetros até o rio Paraíba, na Paraíba, após transferir parte da vazão para as bacias do Pajeú, do Moxotó e da região agreste de Pernambuco (Figura 4.4). Foi projetado para transportar uma vazão máxima de 28 m³/s, sendo a vazão contínua de 10 m³/s. Para o Estado da Paraíba a vazão firme é de 4,2 m³/s, podendo chegar a 10 m³/s de acordo com a necessidade do Estado e do nível do lago de Sobradinho.

No Estado da Paraíba, o eixo leste do PISF promoverá o aumento da garantia da oferta hídrica às populações atendidas pelos reservatórios Poções, em Monteiro; Camalaú, em Camalaú; Epitácio Pessoa, em Boqueirão; e Acauã, em Itatuba.

A vazão do PISF, ao contribuir com os afluxos ao reservatório Acauã, será também utilizada como reforço para o Canal de Integração (Figura 4.5). O Canal de Integração inicia-se em Acauã, têm 122,4 km de extensão e atenderá a região de Mamanguape. Passará pelos

sistemas adutores de São Salvador e Araçagi, terminando no município de Curral de Cima. Suas águas serão utilizadas para irrigação e abastecimento urbano (FARIAS, 2009).

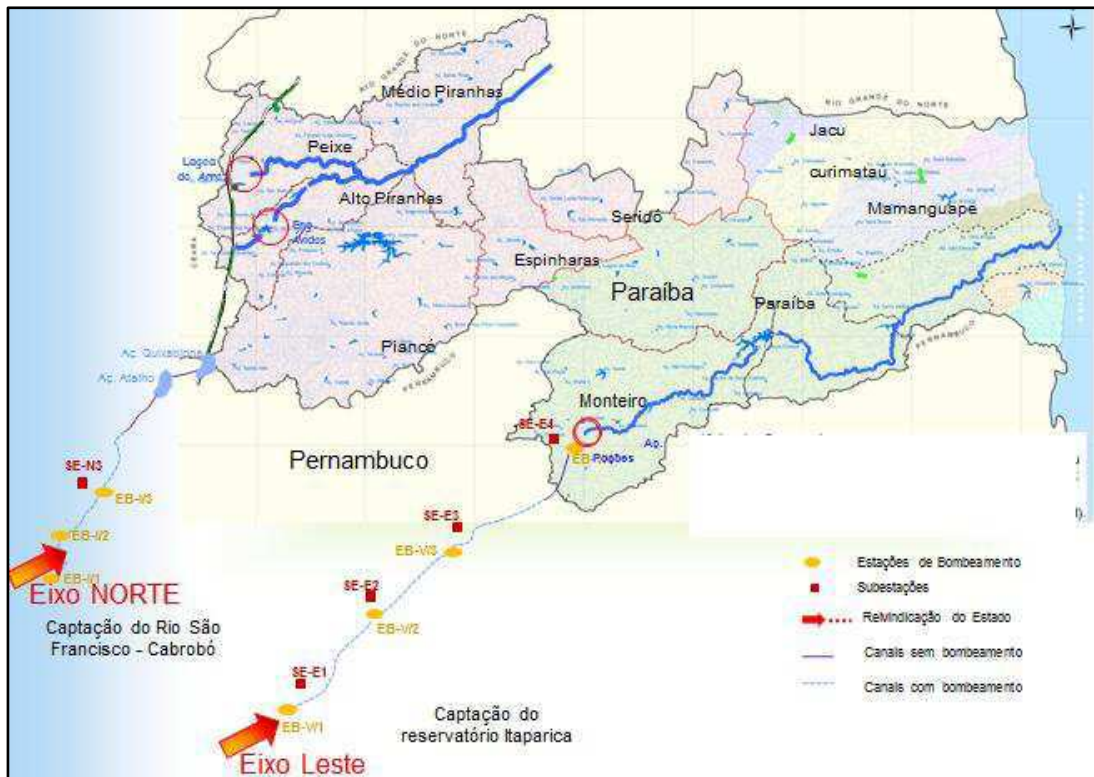


Figura 4.4: Eixo Leste do Projeto de Integração do PISF

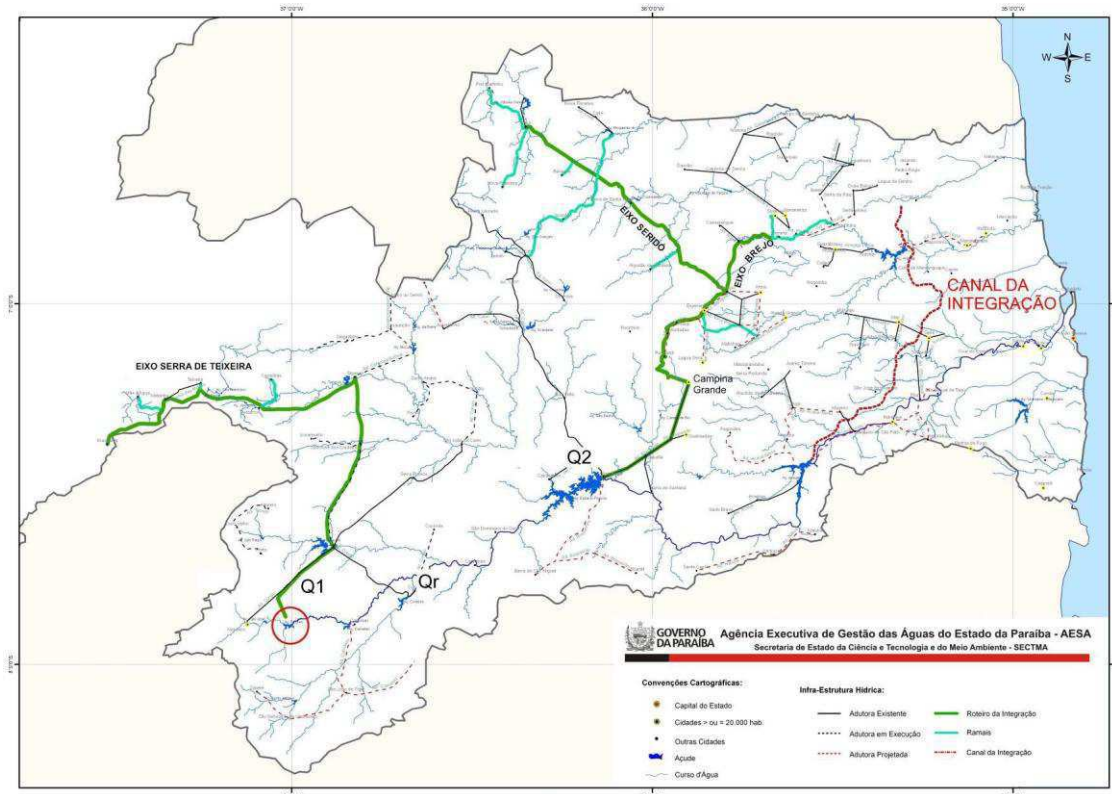


Figura 4.5 – Canal da Integração entre Acauã e Araçagi

CAPÍTULO V - METODOLOGIA

Neste capítulo busca-se apresentar os procedimentos utilizados na pesquisa para a construção da metodologia, descrevendo as etapas do processo e os cenários estudados.

Em termos metodológicos, trata-se de uma pesquisa descritiva e exploratória, que busca realizar um estudo preliminar do principal objetivo da pesquisa, com levantamento bibliográfico. Visa proporcionar uma familiarização com o que está sendo investigado e, conseqüentemente, uma maior compreensão. Quanto à forma de abordagem apresenta-se como uma pesquisa qualitativa e quantitativa e tem natureza aplicada, pois visa investigar hipóteses sugeridas pelos modelos teóricos e os conhecimentos adquiridos são utilizados para aplicação prática, voltados para a solução de problemas específicos existentes.

A metodologia empregada nesta pesquisa envolve a integração de três métodos: uma análise multicriterial por meio do modelo Promethee II, o uso do Modelo de otimização de Outorga (CURI *et al*, 2011) e a utilização de um modelo proposto para a cobrança pelo uso da água bruta, todos descritos no Capítulo 3.

A utilização conjunta dos modelos se dá pelo objetivo de se propor uma alocação otimizada dos diversos usos da água. A aplicação do Método PROMETHEE teve a finalidade de encontrar a ordem de prioridade das demandas a serem outorgadas, considerando os aspectos econômicos (incluindo a cobrança pelo uso da água), sociais, técnicos e ambientais, onde a prioridade de atendimento aos diversos usos foi hierarquizada conforme as preferências dos tomadores de decisão. Em seguida utilizou-se o Modelo de Outorga (CURI *et al*, 2011) para verificar a garantia de atendimento destas demandas priorizadas e o comportamento do sistema, ou seja, os volumes finais disponíveis nos reservatórios estudados, ao longo de um período de 55 anos (660 meses). E, por fim, aplicou-se um modelo de cobrança pelo uso da água bruta, proposto neste trabalho, aos volumes outorgados, incorporando as garantias de atendimento e os diferentes perfis de usuários. Os três modelos serão apresentados a seguir. A seqüência da metodologia aplicada está nas Figuras 5.1 e 5.2.

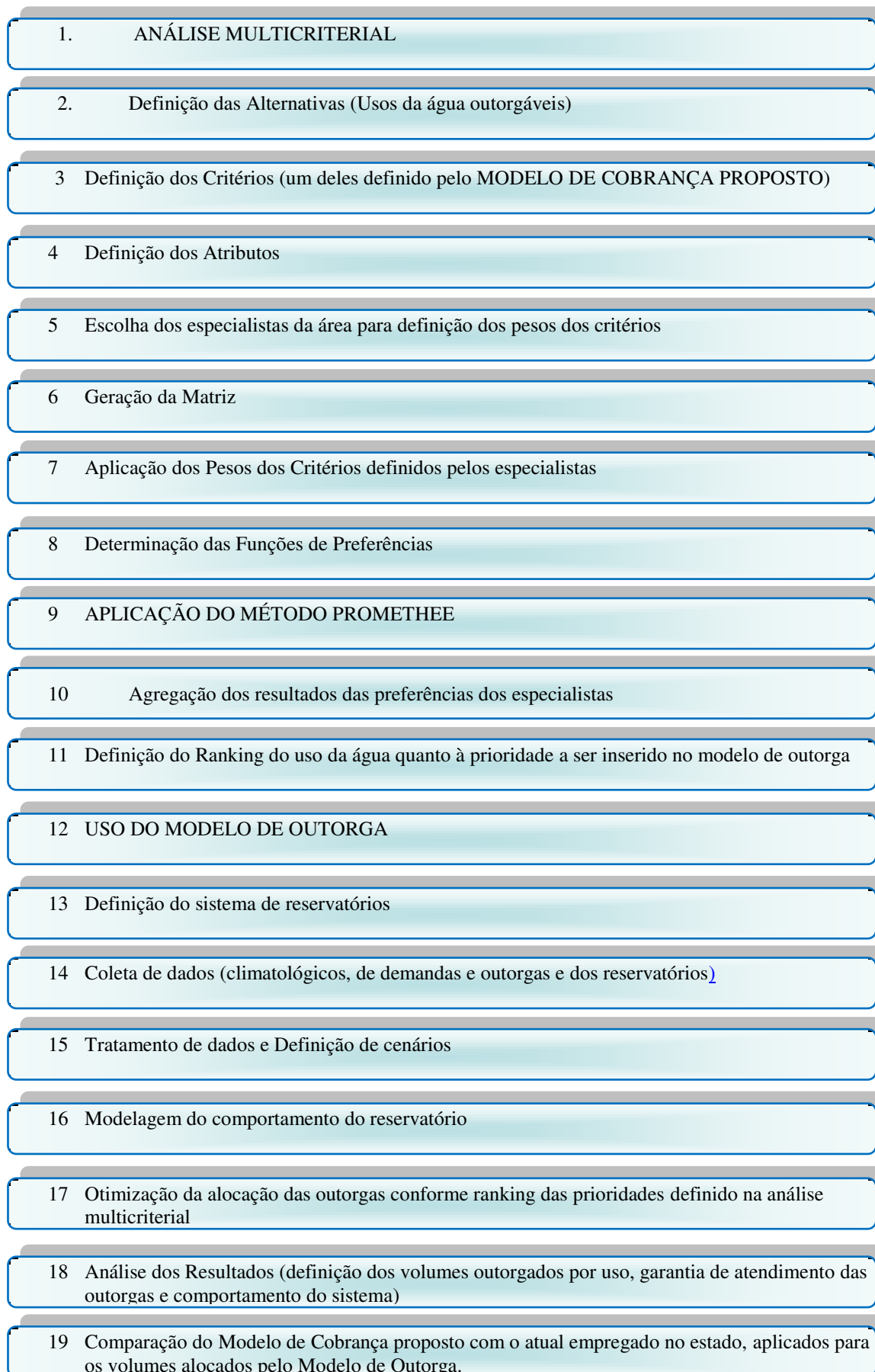


Figura 5.1 – Cronograma de aplicação da metodologia da pesquisa

Fonte: Elaborado pela autora

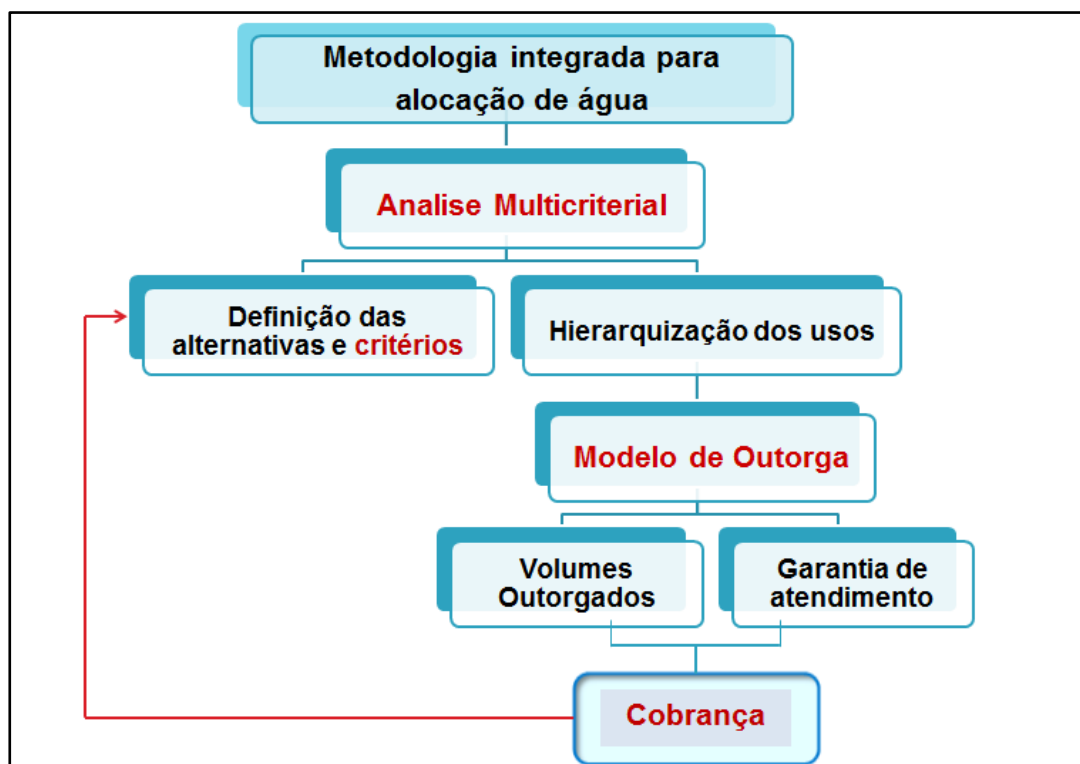


Figura 5.2 – Integração dos modelos aplicados
Fonte: Elaborado pela autora

5.1 DETALHAMENTO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL

O primeiro passo para a aplicação do método multicriterial Promethee é a definição das alternativas e critérios que melhor representem o presente estudo de caso. Em seguida, depois de elaborada a matriz de alternativas e critérios, definiu-se se os critérios são de minimização ou maximização e seus pesos. Dá-se início, então, a determinação do fluxo de sobreclassificação positivo e negativo entre as alternativas e, por fim, no PROMETHEE II, tem-se como resultado a organização da pré-ordem completa das diferenças de fluxos, fornecendo assim o ordenamento de todas as alternativas, por decisor. Em seguida, utilizando-se ainda o PROMETHEE, agregaram-se essas informações em uma ordenação única, que representa as preferências dos multidecisores. A aplicação do método está descrita no Capítulo 3.

5.1.1 Definição das alternativas, critérios e subcritérios

Considerando que a problemática desta pesquisa é a alocação de água entre seus diversos usos, por meio do instrumento da outorga, tem-se como conjunto de alternativas as

diversas demandas de água sujeitas a outorga: **abastecimento humano; irrigação dividida por método de irrigação, para culturas perenes e sazonais; indústria; piscicultura.**

No método multicriterial, os critérios representam ações, consequências. Neste sentido, para o problema de priorização das outorgas, os critérios caracterizam as implicações que os usos da água passíveis de outorga (alternativas) exercem nos aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais da bacia.

Na definição dos critérios foi considerado o caráter objetivo dos mesmos, ou seja, que fosse passível de ser mensurado; se possui parâmetros de comparação; que não houvesse redundância entre eles; além de serem relacionados aos principais aspectos do gerenciamento dos recursos hídricos e com disponibilidade de dados, para auxiliar à tomada de decisões na escolha do melhor ranking de alternativas (usos da água). Este ranking será considerado como ordem de prioridade de atendimento às demandas, quando aplicado o modelo de otimização de outorga para a alocação da disponibilidade hídrica da bacia.

Procurou-se agrupar os critérios em quatro dimensões: econômica (com 2 critérios), ambiental (com 4 critérios), social (com 2 critérios) e técnica (com 2 critérios), como podem ser observadas na Figura 5.3.

Para o critério social foram considerados como subcritérios a geração de emprego e a geração de renda. No critério econômico, os subcritérios escolhidos foram a lucratividade e a cobrança pelo uso da água bruta. A utilização da disponibilidade hídrica na bacia e a eficiência do sistema compõem o critério técnico. No critério ambiental foram selecionados a dependência hídrica, o dano a flora e fauna, a possibilidade de erosão e o comprometimento da qualidade da água.

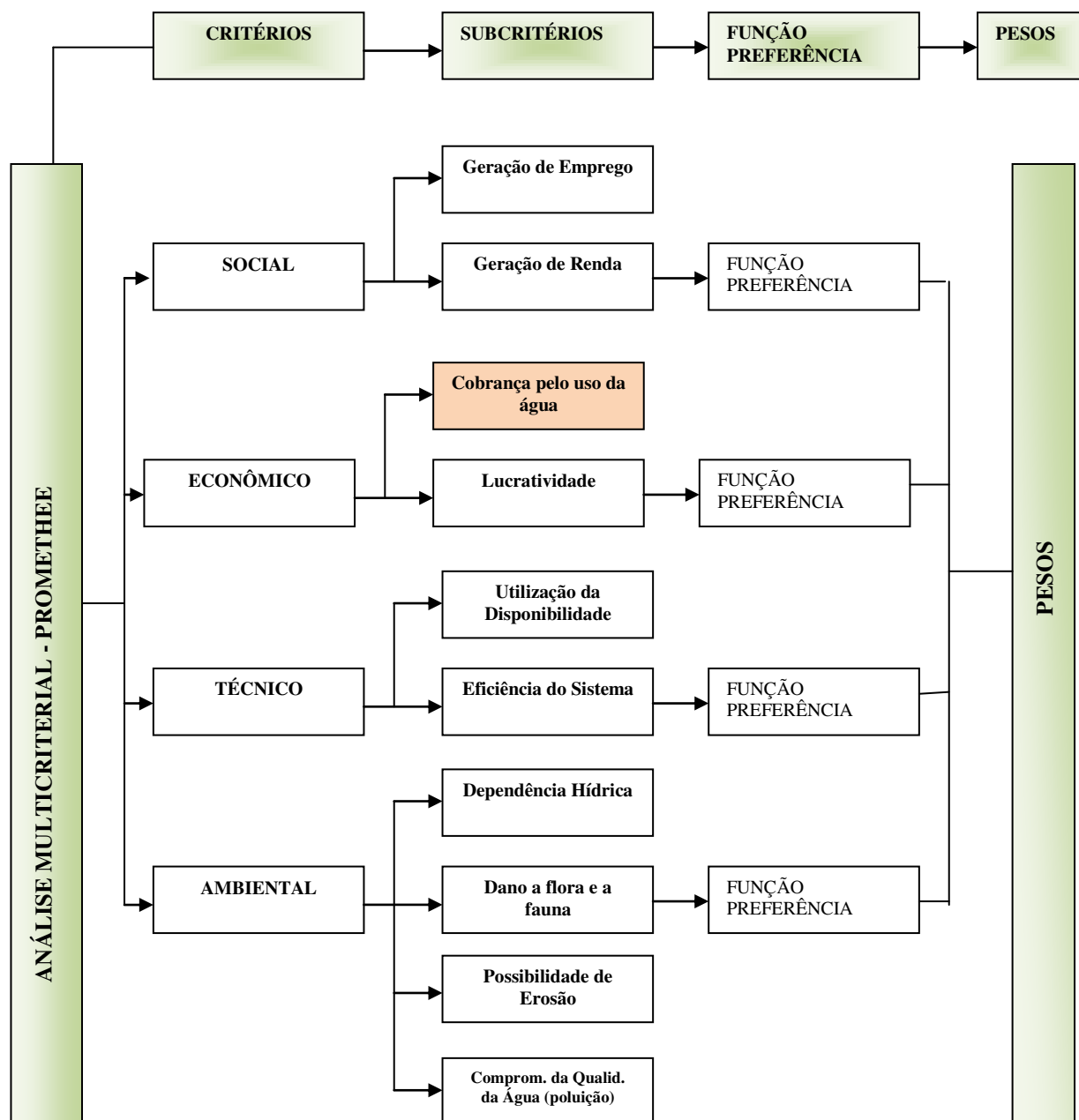


Figura 5.3 – Critérios e subcritérios considerados na análise multicritério
 Fonte: Elaborado pela autora

Critérios Sociais

a) Subcritério geração de emprego

A finalidade deste subcritério é avaliar o número médio de pessoas envolvidas no desenvolvimento de cada atividade que faz uso da água conforme as alternativas apresentadas e que estão presentes na região de estudo (agricultura irrigada, indústria, piscicultura).

Para avaliação das alternativas foi adotado neste subcritério o número percentual de pessoas envolvidas no desenvolvimento de cada atividade que faz uso da água em relação ao

total de empregos em todos os setores no Estado da Paraíba. Os valores foram obtidos do Caderno de Estatísticas Setoriais do Banco do Nordeste (Banco do Nordeste, 2013).

b) Subcritério geração de renda

A geração de renda foi estimada com base no percentual do salário do trabalhador por atividade que faz uso da água em relação ao salário médio recebido pelos trabalhadores dos setores agropecuário e industrial no Estado da Paraíba. Os valores foram obtidos do Caderno de Estatísticas Setoriais do Banco do Nordeste (Banco do Nordeste, 2013).

Critérios Econômicos

a) Subcritério lucratividade

A lucratividade ou receita líquida será estimada como sendo o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida e os respectivos custos de produção gerada pelas atividades correspondentes aos tipos de uso. Foram adotados os percentuais de participação dos setores agropecuário e industrial do PIB na Paraíba (IDEME, 2016).

b) Subcritério cobrança pelo uso da água

A cobrança é um instrumento de gestão, que consiste na remuneração pelo uso de um bem público, no caso a água, instituída pela Lei nº 9.433/97, cujo preço é fixado a partir da participação dos usuários da água, da sociedade civil e do poder público, no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica e visa dar ao usuário uma indicação do real valor da água, promover o uso racional e obter recursos financeiros para recuperação das bacias hidrográficas. Os valores adotados para a cobrança por uso de água (R\$/m³) são os definidos no Decreto Estadual PB nº 33.613, de 14 de dezembro de 2012.

Critérios Técnicos

a) Subcritérios utilização da disponibilidade

A relação entre demandas e disponibilidades explica a provável situação de cada setor de uso da água em relação a disponibilidade da bacia. Neste caso foi utilizado o Índice de Utilização das Disponibilidades Atuais (IUD_A) do Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESAs, 2006).

b) Subcritérios eficiência do sistema

Este critério visa avaliar para cada tipo de uso, o aspecto da eficiência da utilização da água para o desenvolvimento das atividades. Ou seja, diz respeito a minimização de perdas na utilização da água.

Para os sistemas de irrigação, as eficiências do sistema de aplicação foram definidas de acordo com a Resolução nº 687 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2004): Gotejamento (0,90), micro aspersão (0,90), aspersão (0,65), canhão (0,65), inundação (0,40) e sulco (0,40). Para uso industrial foi adotado uma eficiência de 70%, estimando-se que existe uma ineficiência do uso da água nas indústrias de 30%, em média. Quanto as perdas da empresa de saneamento, será considerado o percentual de perdas informado em publicações oficiais.

Crítérios Ambientais**a) Subcritério dependência hídrica**

Este critério diz respeito volume de água consumido por atividade. Foi adotado o percentual do volume consumido por tipo de uso da água em relação ao total de demanda de água da bacia hidrográfica do rio Paraíba. Os dados foram obtidos do Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESAs, 2006).

b) Subcritério dano a flora e fauna

Avalia o grau dos impactos causados à fauna e flora em função do desmatamento para a implantação da atividade correlata ao tipo de uso da água. Foi utilizado uma escala de 0 a 1, a partir de julgamentos subjetivos (muito baixa:0; baixa:0,25; regular:0,50; alta:0,75; e muito alta:1,0), considerando o valor 1 para a atividade que implica em uma maior área de desmatamento para a sua implantação em relação as demais.

c) Subcritério possibilidade de erosão

Com base em Monte (2013), este critério diz respeito a contribuição do desmatamento para o aumento da erosão do solo. Igualmente ao critério anterior foi adotada uma escala de 0 a 1, a partir de julgamentos subjetivos (muito baixa:0; baixa:0,25; regular:0,50; alta:0,75; e muito alta:1,0), sendo a nota máxima dada para a alternativa em representasse maior possibilidade de erosão.

d) Subcritério comprometimento da qualidade da água (poluição de corpos hídricos)

O critério do comprometimento da qualidade de água, aqui considerado, é quando o desenvolvimento da atividade que faz uso da água compromete a qualidade da mesma diretamente, por exemplo, com produção de efluentes descartados no ambiente. Para este critério foi adotada uma escala de 0 a 1 (muito baixa:0; baixa:0,25; regular:0,50; alta:0,75; e muito alta:1,0).

5.1.2 Pesos e funções de preferências

Os pesos são avaliados por cada decisor e expressam a importância relativa para cada critério. Mesmo sendo os critérios idênticos para todos os decisores, as avaliações diferem de acordo com os pesos atribuídos individualmente. Valores maiores são considerados para os critérios mais relevantes do problema pelo decisor, sejam eles técnicos, financeiros, sociais ou ambientais.

As percepções dos decisores em relação à importância relativa entre critérios foram obtidas, nesta pesquisa, por meio de aplicação de questionário, conforme descrito no próximo item.

Após os resultados do questionário, através do qual foram atribuídos pesos aos critérios, realizou-se, então, a normalização dos valores auferidos, dividindo cada peso pela soma total dos pesos atribuídos a critérios de uma determinada dimensão, por decisor, de modo que a soma dos pesos normalizados para aquela dimensão fosse igual a 1. Os resultados estão apresentados no Capítulo 6.

Em seguida, foi feita a escolha dos parâmetros e das funções de preferência entre as seis propostas no método PROMETHEE por Brans *et al* (1986), detalhadas no Capítulo 3.

A definição dos limiares de preferência (p) e indiferença(q) são requisitos para a aplicação do método PROMETHEE II, uma vez que esses parâmetros das funções de preferência possibilitam a correção de erros que podem ocorrer ao estimar os valores para os atributos relativos às alternativas (SANTOS, 2004). O valor de preferência “p”, que representa um limiar de preferência, acima do qual há uma preferência para uma alternativa é definido conforme a sensibilidade dos especialistas ou facilitador. Da mesma forma se define o valor de “q”, o qual representa um limiar de indiferença, abaixo do qual há uma indiferença entre as alternativas.

A escolha das funções de preferência para cada critério foi feita de forma global, ou seja, para um dado critério, selecionou-se a mesma função e os mesmos parâmetros p e q para representar as funções de preferência de todos os decisores. As funções de preferência, por critério, foram definidas da seguinte forma:

- **função I (usual)** para os critérios comprometimento da qualidade de água, participação no PIB e geração de emprego - por ser indicada para critérios onde se considera que desempenho de uma alternativa ligeiramente maior que o desempenho de outra, implica em considerar a primeira preferível à segunda. Esta função foi adotada também para os critérios dano a flora e a fauna e possibilidade de erosão, por serem critérios qualitativos.

-- **função II (em forma de U)** para o critério Índice de utilização da disponibilidade (IUD) - por ser indicada para critérios qualitativos, onde se considera a partir de um determinado limite de indiferença q , uma alternativa é totalmente preferível à outra. Considerou-se não haver preferências entre a piscicultura e a indústria em relação a este critério ($0,241-0,237 = 0,004$), conforme se observa na Tabela 5.1. Foi adotado $q = 10\%$ do maior atributo ($2,728$) por se entender que são valores estimados (AESAs, 2006).

- **função III (em forma de V)** para os critérios cobrança e geração de renda - por se tratar de critérios com valores quantitativos de aspecto monetário e não haver necessidade de introduzir um limite de indiferença q . A preferência do decisor por uma alternativa em relação à outra aumenta linearmente com a diferença de desempenho entre elas; e, a partir de um determinado limiar de diferença de desempenho, uma alternativa é totalmente preferível à outra. O limite de preferência adotado foi a diferença absoluta entre o maior e o menor atributo entre as alternativas.

- **função V (linear)** para os critérios dependência hídrica, eficiência pelo uso da água – semelhante a função III a preferência do decisor por uma alternativa em relação à outra aumenta linearmente com a diferença de desempenho entre elas e nesta função se introduzir um limite de indiferença q . Para o critério da dependência hídrica cujo valores dos atributos são estimados, entende-se que a diferença de $0,9$ entre as alternativas da piscicultura e da microaspersão deve ser considerado como um limite de indiferença, $q=0,9$. No caso do critério eficiência do sistema, adotou-se $q=0,1$. O limite de preferência adotado foi a diferença absoluta entre o maior e o menor atributo entre as alternativas.

Na Tabela 5.1 está apresentada a matriz de alternativas e critérios para a análise multicriterial pelo método Promethee, seus atributos, funções e limiares de preferência (p) e indiferença(q).

Tabela 5.1 – Matriz de alternativas e critérios para análise multicriterial

Critérios	Cobrança pelo uso da água	PIB	Geração de emprego	Geração de renda	Índice de utilização da disponibilidade - IUD	Eficiência do sistema	Dependência hídrica	Dano a flora e a fauna	Possibilidade de erosão	Comprometimento da qualidade de água
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Unidade	R\$/m ³	%	%	%	unid	unid	%	unid	unid	unid
Max/Min	max	max	max	max	min	max	min	min	min	min
Função	III	I	I	III	II	V	V	I	I	I
Q: indiferença					0,3	0,1	0,9			
P: Preferência	0,011			30		0,59	24			
Alternativas - Usos da Água	1 - Abastecimento humano									
	2 - Piscicultura	0,005	1,680	0,022	49,683	0,237	1,000	5,940	0,250	0,250
	3 - Irrig microaspersão	0,003	3,920	1,346	59,466	2,728	0,900	5,100	1,000	0,750
	4 - Irrigação Aspersão	0,003	3,920	1,346	59,466	2,728	0,650	17,800	1,000	0,750
	5 - Irrigação Sulco	0,003	3,920	1,346	59,466	2,728	0,400	30,580	1,000	0,750
	6 - Indústria	0,015	22,400	13,669	80,861	0,241	0,700	11,100	0,500	0,500

5.1.3 Participantes da pesquisa primária (decisores)

A ponderação dos critérios na análise multicriterial é dada pelo seu peso. Segundo Santos (2009), a técnica de aplicação de questionários geralmente é empregada para representar nos pesos de cada critério, as expectativas dos tomadores de decisão, quando na impossibilidade de reuni-los.

Marconi e Lakatos (2002) definem o questionário como um instrumento científico, constituído de um conjunto de perguntas ordenadas de acordo com um critério predeterminado que visa obter dados de um grupo de respondentes, sem a presença do entrevistador.

Nesta pesquisa foi utilizado um questionário virtual, criado no Google Docs, com base nas alternativas e critérios previamente definidos. O questionário foi estruturado segundo o método PROMETHEE e encontra-se no Apêndice A. O formulário criado no Google Docs é associado a um banco de dados para armazenamento das informações fornecidas pelos entrevistados, possibilitando a exportação dos dados para uma planilha eletrônica para serem sistematizados.

A aplicação de questionário virtual tem algumas vantagens, segundo Ruiz (1996), Marconi e Lakatos (2002) e Hair *et al.* (2005): atinge um determinado grupo de pessoas de maneira simultânea e se obtém um grande número de dados; economia de tempo e eliminação de deslocamento; abrange uma ampla área geográfica; obtém respostas mais rápidas; não há influência do pesquisador; o respondente pode ficar no anonimato e escolhe o melhor momento para responder o questionário. Além disso, o questionário fica disponível a qualquer hora para acesso de qualquer lugar e existe a possibilidade de reenvio do convite aos sujeitos da pesquisa. Algumas desvantagens citadas pelos autores são as seguintes: baixo retorno de

questionários, impossibilidade do auxílio ao informante em questões mal compreendidas e a devolução tardia que causa prejuízos ao cronograma.

Antes do envio aos decisores, o questionário foi aplicado a algumas pessoas, como teste. No formulário estão apresentados e explicados as alternativas, os critérios e os níveis de escala. Os decisores avaliaram os critérios a partir de julgamentos baseados em experiências pessoais (Nenhum, Baixa, Médio, Alta e Muito Alta), que, em seguida foram convertidos em escala numérica: nenhum (0,0); baixo (0,25); médio (0,50); alto (0,75); muito alto (1,0).

O público alvo para a aplicação do método multicriterial Promethee como auxílio a tomada de decisão foram os integrantes do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, e especialistas pertencentes a Agência Executiva de Gestão de Água do Estado da Paraíba – AESA, a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA e Instituições de Ensino Superior. O Comitê da bacia do Rio Paraíba é formado por representantes dos vários setores de uso da água na sociedade e estes representantes apresentam escolaridade e formação profissional bem diversificada.

Foi encaminhado o questionário a 51 pessoas e recebidas 11 respostas dos entrevistados, o que correspondeu a 21,5%. Segundo Monte (2013), a devolução desse tipo de questionário previsto na literatura geralmente é em torno de 10%.

A maior parte dos participantes é vinculada a AESA (54,5%); em segundo estão os da Universidade Federal de Campina Grande (18,2%); e com percentual de participação igual foram os da CAGEPA (9,1%), DNOCS (9,1%) e da administração pública municipal (9,1%). Desses participantes, 45,45% são integrantes do Comitê da bacia hidrográfica do rio Paraíba.

Em relação à área de atuação dos participantes, esta se apresentou assim distribuída: gerenciamento de recursos hídricos (45,4%), saneamento (18,2%), gestão pública-setor financeiro (18,2%), biologia (9,1%) e engenharia agrícola (9,1%).

Quanto a escolaridade dos participantes, quatro são graduados (36,3%), três são doutores (27,3%), dois mestres (18,2%), um especialista (9,1%) e um de nível médio (9,1%).

Da pesquisa primária, então, se obteve a opinião dos integrantes, para a qual se atribuiu pesos de forma a definir o grau de importância dos critérios e subcritérios, apresentados no Capítulo 6 dos resultados.

5.2 APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE OUTORGA

Para analisar a alocação das outorgas pertencentes às bacias de contribuição dos reservatórios selecionados, foi utilizado o modelo de outorga apresentado no capítulo 3.

O modelo de outorga apresenta uma solução ótima para a alocação dos volumes de água. Suas condições operacionais são verificadas por meio da simulação da série histórica de vazões com a alocação determinada pelo modelo de otimização. A otimização se dá por meio de distribuição da água, com base em funções objetivo definidas, sujeitas a restrições técnico-operacionais, para um cenário que combine as diferentes variáveis de entrada.

Neste modelo foi utilizada a ordem das alternativas (usos da água) obtida através da análise multicriterial como ordem de prioridade no atendimento às outorgas.

Foi efetuada a alocação dos volumes outorgados de água, segundo essas prioridades para abastecimento humano, irrigação, piscicultura, indústria e lançamento de efluentes, bem como a garantia de atendimentos das outorgas. A Figura 5.4 representa o fluxograma do modelo de outorga

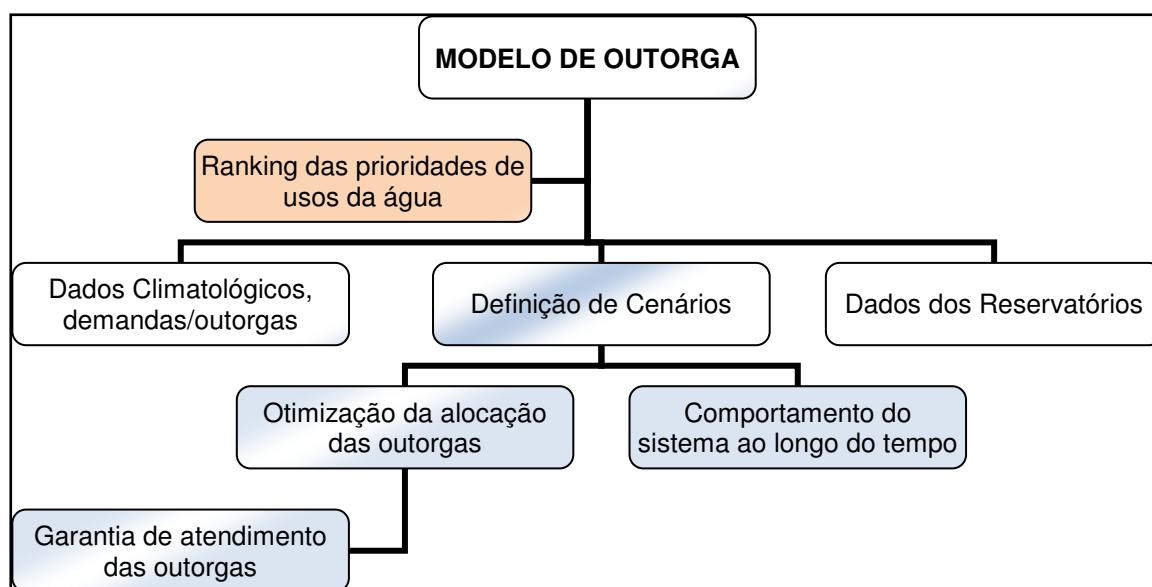


Figura 5.4 – Fluxograma do modelo de outorga

Fonte: Elaborado pela autora

5.2.1 Dados de Entrada do Modelo de Outorga

5.2.1.1 Esquema do sistema a ser estudado

A Figura 5.5 apresenta um esquema do sistema a ser estudado, no qual se identifica os principais reservatórios da bacia do rio Paraíba que estão em série e em paralelo. Para a aplicação dos modelos foram selecionados os reservatórios: Poções, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa e Acauã.

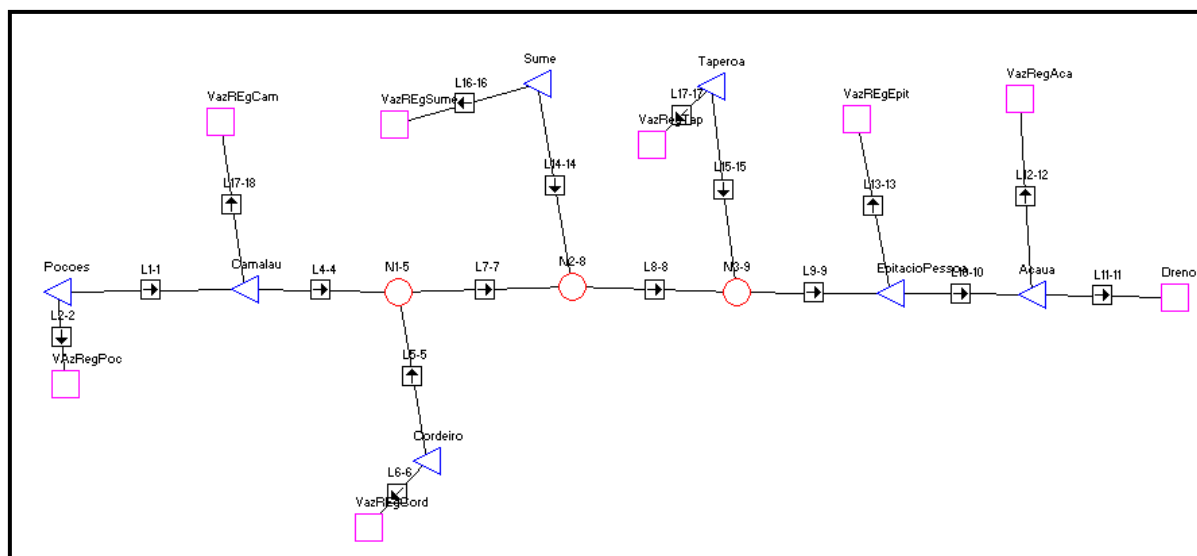


Figura 5.5 - Esquema do sistema a ser estudado

Fonte: Própria autora

5.2.1.2 Área da bacia de contribuição, capacidade máxima e mínima dos reservatórios

As áreas das bacias de contribuição, coordenadas e capacidades mínima e máxima de armazenamento dos reservatórios estudados, estão apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela.5.2 - Área da bacia hidrográfica, localização e volumes máximo e mínimo

Barragem	Área da bacia hidrográfica (Km ²)	Localização (UTM)	Volume máximo (m ³)	Volume mínimo (m ³)
Acauã	3.672,74	215858; 9175954	253.000.000,00	14.500.000,00
Epitácio Pessoa	6.586,64	815500; 9171300	411.686.287,00	28.238.900,00
Poçoões	244,07	720755; 9127446	29.861.562,00	582.125,00
Cordeiro	1.313,02	755000; 9135300	69.965.945,00	1.526.365,00
Camalau	397,54	738650; 9127756	46.437.520,00	2.321.876,00
Sumé	523,04	731700; 9151400	44.864.100,00	185.437,00
Taperoá	496,98	738624; 9202708	15.148.900,00	302.978,00

5.2.1.3 Caracterização das demandas dos reservatórios estudados

As demandas da bacia hidrográfica do rio Paraíba e dos reservatórios estudados, de um modo geral, destinam-se a:

- abastecimento público urbano e rural;
- indústria;
- dessedentação animal;
- irrigação;
- lazer;

- diluição de efluentes dos sistemas de esgotamento sanitário.

Com base nas informações previamente adquiridas para este estudo sobre as outorgas concedidas pela AESA e ANA, tendo como fonte hídrica os reservatórios aqui selecionados ou rios por estes perenizados, observa-se que a irrigação é o uso preponderante da água. O uso industrial apresenta-se menos expressivo, estando presente para o reservatório de Acauã. O abastecimento humano é um dos usos presente em todos os reservatórios estudados, com uma maior demanda para o açude de Epitácio Pessoa.

Os tipos de outorgas e os volumes outorgados ou em análise (em andamento) aplicados aos reservatórios em estudo, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraíba foram obtidos dos órgãos responsáveis pela concessão das outorgas no Estado e em âmbito Federal, respectivamente, a Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA, 2015) e Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Nos dados são identificados o volume outorgado por usuário, tipo de uso, sistema utilizado, tipo de cultura, área irrigada, entre outros aspectos pertinentes e estão apresentados no capítulo dos resultados.

5.2.1.4 Vazões Afluentes aos Reservatórios

Utilizou-se no modelo séries sintéticas de vazões afluentes aos reservatórios gerados pelo modelo Tank Model (AESA, 2006), e o período de estudo foi de 1935 a 1989 (55 anos), apresentadas do Anexo 1 ao Anexo 5.

5.2.1.5 Dados de Evaporação

Os dados referentes à evaporação nos reservatórios foram os dados utilizados no PERH-PB (AESA, 2006), conforme resumido na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Evaporação média mensal (mm) nos reservatórios

Açude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Ser	Out	Nov	Dez
Poções	233	178	156	116	115	127	156	206	239	263	266	273
Camalaú	233	178	156	116	115	127	156	206	239	263	266	273
Epitácio Pessoa	192	155	195	163	178	130	109	143	166	237	212	228
Acauã	147	132	108	88	102	65	73	105	126	154	151	165
Cordeiro	173,6	134,4	117,8	114	108,5	108	120,9	145,7	159	176,7	174	182,9

Fonte: (AESA, 2006)

5.2.1.6 Relação Cota x Área x Volume

Os valores referentes à Cota x Área x Volume para os reservatórios em estudo foram disponibilizados pela AESA.

5.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

A partir dos resultados do modelo de outorga foram feitas as análises da cobrança pelo uso da água aos volumes outorgados. Foram aplicados dois modelos: o modelo estabelecida pelo Decreto Estadual, com coeficiente constante $K=1$ (equação 2.1) e o modelo proposto neste trabalho de pesquisa (equação 5.1), variando os coeficientes para representar perfis diferentes de usuários de água.

A formulação da cobrança pelo uso da água bruta proposta para a bacia hidrográfica do rio Paraíba está detalhado no Capítulo 3, item 3.3.1.2 e é apresentada da seguinte forma:

$$\text{Valortotal} = [Q_{\text{cap out}} \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap}} + \max(0, (K_{\text{reserv}} \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}})) \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{extra}}] + [Q_{\text{diluiç}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times K_{\text{lanç}} \times K_{\text{tratament}} + Q_{\text{diluiç}} \times \text{PUB}_{\text{lanç}} \times (K_{\text{tratament}}^i - K_{\text{tratament}}^{i-1})] \quad (5.1)$$

Onde:

Valorcap = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

$Q_{\text{cap out}}$ = volume outorgado anual para cada tipo de uso (m^3);

PUB_{cap} = Preço unitário para cada tipo de uso (R/m^3);

$K_{\text{cap}} = X1.X2.X3.X4.X5$

K_{reserv} = Valor máximo do volume anual de água captado medido em relação ao volume anual captado outorgado, definido pelo comitê, por tipo de uso;

$Q_{\text{cap med}}$ = Volume captado (utilizado) medido ou informado pelo usuário (m^3);

K_{extra} variável conforme a relação $Q_{\text{cap med}} / Q_{\text{cap out}}$.

Para:

$$Q_{\text{cap med}} / Q_{\text{cap out}} \geq K_{\text{reserv}}, K_{\text{extra}} = 1$$

Quando:

$Q_{\text{cap med}} / Q_{\text{cap out}} < K_{\text{reserv}}, K_{\text{extra}} > 1$, calculado pela seguinte fórmula:

$$K_{\text{extra}} = 1 + (K_{\text{reserv}} \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}}) / Q_{\text{cap out}}$$

Valorlanç = valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;

$Q_{\text{diluição}}$ = volume outorgado anual para diluição de esgotos e demais efluentes (m^3);

$PUB_{\text{lanç}}$ = preço unitário cobrado para o lançamento de esgotos e demais efluentes ($R\$/m^3$);

$K_{\text{lanç}} = Y1.Y2.Y3.Y4$

$K_{\text{tratament}} = 1 + (1 - k2 \times k3)$, onde:

K2 representa o percentual do volume de efluentes tratados em relação ao volume total de efluentes produzidos, ou a razão entre a vazão efluente tratada e a vazão efluente bruta;

K3 representa a eficiência de redução da carga orgânica (medida em demanda bioquímica de oxigênio – DBO) do efluente tratado pelo usuário.

Os valores dos coeficientes X1, X2...X5 e Y1, Y2...Y4, estão definidos no capítulo 3, e apresentados na Tabela 5.4, a seguir.

Tabela 5.4 - Coeficientes propostos para a metodologia da cobrança

Coeficientes de cobrança para captação		
Coeficiente	Definição	Valores propostos
X1	Natureza do corpo d'água	Superficial = 1,0. Não será utilizado fonte subterrânea nesta pesquisa
X2	Classe de enquadramento no local de captação	Classe 1 - 1,02; Classe 2 - 1,0; Classe 3 - 0,98; Classe 4 - 0,95
X3	Disponibilidade hídrica local (índice de ativação da disponibilidade)	$X3 = 0,98 (0 < IAD < 0,5)$; $X3 = 1,0 (0,5 \leq IAD < 0,9)$; $X3 = 1,02 (0,9 \leq IAD \leq 1,0)$
X4	Garantia da vazão outorgada por reservatórios	100% de garantia $x4 = 1,0$ entre 95% e 100% $x4 = 0,98$ entre 90% e 95% $x4 = 0,95$
X5	Eficiência do sistema ou consumo efetivo	perdas $\leq 10\%$ $x5 = 1,0$ entre 11% e 30% $x5 = 1,025$ entre 31% e 50% $x5 = 1,050$ entre 51% e 70% $x5 = 1,075$ perdas $> 70\%$ $x5 = 1,100$
Coeficientes de cobrança para diluição de efluentes		
Y1	Classe de enquadramento do corpo receptor	Classe 1 - 1,02; Classe 2 - 1,0 Classe 3 - 0,98; Classe 4 - 0,95
Y2	Vulnerabilidade dos aquíferos (possibilidade de contaminação)	grau alto, $Y2 = 1,05$; grau médio $Y2 = 1,02$ grau baixo; $Y2 = 1,0$
Y3	Distância do lançamento	$Y3 = 0,95$ para grandes distâncias; $Y3 = 1,0$ para médias distâncias; $Y3 = 1,05$ para pequenas distâncias
Y4	Local do lançamento	em rios: $Y4=1$; águas subterrâneas: $Y4=1,02$; açudes: $Y4=1,05$
K3	Eficiência na redução da carga orgânica	$K3 = 0,95 (0,50 < DBO < 0,70)$; $K3 = 0,98 (0,70 \leq DBO < 0,80)$; $K3 = 1,0 (0,80 \leq DBO \leq 1,00)$

Fonte: Elaborado pela autora

5.4 CENÁRIOS ESTUDADOS

5.4.1 Cenários para o Modelo de Outorga

O modelo de outorga aqui apresentado tem a finalidade de avaliar a capacidade de atendimento às demandas outorgadas e de novos pedidos de outorga para os reservatórios estudados, estabelecendo garantias de atendimento dentro das prioridades pré-definidas. As análises foram realizadas por reservatório, para quatro cenários, considerando a prioridade de atendimento às outorgas de uso da água conforme obtida da análise multicriterial. Os cenários analisados estão apresentados no Quadro 5.1.

Cenários	Demandas	Vazões extras	Análises Realizadas
C1-A	Agrupadas	-	Garantia de atendimento às outorgas solicitadas e em andamento, por ordem de prioridade.
C1-B	Agrupadas	Vertimentos	Garantia de atendimento às outorgas solicitadas e em andamento, por ordem de prioridade, considerando a contribuição das vazões vertidas de reservatórios a montante.
C2-A	Agrupadas	Vertimentos + PISF	Garantia de atendimento às outorgas solicitadas e em andamento, por ordem de prioridade, considerando a vazão de contribuição advinda do PISF, transportada pelo rio Paraíba.
C2-B	Agrupadas	Vertimentos + PISF	Garantia de atendimento às outorgas solicitadas e em andamento, por ordem de prioridade, considerando a vazão de contribuição advinda do PISF, transportada em parte por adutora e o restante pelo rio. Foram acrescentadas na análise, demandas para atender ao Canal de Integração de Acauã.

Quadro 5.1 – Cenários para aplicação do modelo de outorga.

Para os cenários C1-A, C1-B e C2-A e C2-B, as demandas foram agrupadas por tipo de uso, ou seja, para cada reservatório foram considerados os totais das outorgas solicitadas para o abastecimento humano, irrigação (por tipo de sistema), piscicultura e demais usos. Os reservatórios estudados são: Poções, Camalaú, Cordeiro, Eptácio Pessoa e Acauã.

Cenário C1-A

No Cenário C1-A os reservatórios foram avaliados de forma isolada, sem a contribuição dos vertimentos dos reservatórios a montante para a obtenção da garantia de concessão de

outorga.

Cenário C1-B

No Cenário C1-B foram somadas as vazões afluentes aos reservatórios, as vazões dos vertimentos de reservatórios a montante, quando estas ocorrerem. Para o reservatório Camalaú, foram acrescidas aos influxos, as vazões vertidas do reservatório Poções. Para o reservatório Epitácio Pessoa, foram somadas as contribuições dos vertimentos de Camalaú e Cordeiro. Aos influxos do reservatório Acauã foram acrescidos os vertimentos do reservatório Epitácio Pessoa.

Cenário C2-A

Para o cenário C2-A foi considerado o incremento de vazão do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) com a bacia do Rio Paraíba pelo eixo leste e as vazões vertidas dos reservatórios a montante. A vazão de incremento a ser considerada é a vazão contínua de 4,2 m³/s, totalmente transportada pelo rio Paraíba (Figura 5.6). No entanto, foram adotadas as perdas em trânsito de 14% entre os reservatórios Poções e Boqueirão (Alto Paraíba) e 22% para o trecho entre Boqueirão e Acauã (Médio Paraíba), conforme definidas em estudos técnicos desenvolvidos pela AESA e utilizados nas pesquisas de Aragão (2008) e Farias (2009). Para o cenário C1-B que considera os volumes vertidos dos reservatórios a montante, também foram adotados os mesmos valores para as perdas em trânsito.

Cenário C2-B

No Cenário C2-B a vazão de contribuição do PISF é de 4,2 m³/s sendo que uma fração da vazão do PISF segue via adutora e o restante será transportado pelo rio Paraíba, conforme uma das alternativas de estudo da AESA, apresentadas em Farias (2009). A vazão transportada pela adutora a partir de Poções até o açude Epitácio Pessoa é de Q₁=1,12 m³/s e o restante da vazão a ser transportada pelo leito do rio é de Q_r=3,08 m³/s (Figura 5.6).

Neste Cenário C2-B, para o reservatório Acauã ainda foi admitida uma demanda para atender o Canal de Integração que se inicia em Acauã, têm 122,4 km de extensão e atenderá a região de Mamanguape. Passará pelos sistemas adutores de São Salvador e Araçagi, terminando no município de Curral de Cima. Suas águas serão utilizadas para irrigação e abastecimento urbano (FARIAS, 2009). Foram consideradas demandas com valores de 1,0 m³/s; 1,5 m³/s; 2,0 m³/s e 2,5 m³/s e obtidas as garantias de atendimento.

Nos cenários C2-A e C2-B, os reservatórios Poções e Camalaú são operados para

liberar a vazão do PISF para o reservatório a jusante, por meio de comporta. No caso do reservatório Epitácio Pessoa, devido a grande demanda, só após o vertimento deste, o reservatório Acauã receberá a contribuição do PISF.

Os tipos de outorgas e os volumes outorgados ou em análise (em andamento) aplicados aos reservatórios em estudo, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraíba foram obtidos dos órgãos responsáveis pela concessão das outorgas no Estado (AESAs) e em âmbito Federal (ANA).



Figura 5.6 – Distribuição das águas do PISF-Eixo Leste, na bacia do Rio Paraíba

5.4.2 Cenários para o Modelo de Cobrança

Com base nos volumes outorgados e nas garantias de atendimento, estimaram-se os valores a serem arrecadados com a cobrança pelo uso da água bruta, conforme metodologia e critérios estabelecidos no Decreto Estadual (equação 2.1) e pelo modelo proposto, que visa induzir o usuário a fazer um uso mais racional da água (equação 5.1).

As análises foram realizadas por reservatório, para dois cenários, considerando

prioridade de atendimento das outorgas de uso da água conforme obtido da análise multicriterial, sendo que as simulações foram realizadas por acréscimo individual de usuários e não para outorgas agrupadas por tipo de uso.

Os cenários analisados estão apresentados no Quadro 5.2.

Cenários	Outorga Otimizada	Análises para a cobrança	Reservatórios
C1	Por usuário	Aplicação do modelo de cobrança proposto aos volumes outorgados para variados coeficientes	Poções, Camalaú, Cordeiro, Epitácio Pessoa e Acauã
C2	Por usuário	Aplicação do modelo de cobrança proposto aos volumes outorgados para lançamento de efluentes	Acauã

Quadro 5.2 – Cenários para aplicação do modelo de cobrança.

O Cenário C2 foi aplicado ao reservatório Acauã, pois apenas este apresentou outorga para o lançamento de efluentes, conforme dados obtidos da AESA (2015).

Para cada cenário, foram adotados entre os usuários, variados valores dos coeficientes definidos na Tabela 5.4, os quais representam diferentes perfis de usuários. Esta diferenciação dos coeficientes foi realizada no capítulo de análise dos resultados para facilitar o entendimento da discussão dos valores obtidos.

CAPÍTULO VI - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na pesquisa. Inicialmente é feita uma abordagem acerca dos resultados obtidos com o uso do método multicritério PROMETHEE, pelo qual se obteve o ranking das prioridades das outorgas com base nas preferências dos decisores. Em seguida, com a aplicação do modelo de outorga multiobjetivo, são analisados os resultados das garantias de atendimento às demandas priorizadas e o comportamento do sistema estudado. Por último, são discutidos os resultados alcançados com o modelo proposto de cobrança, aplicado aos volumes outorgados.

6.1 RESULTADOS DA APLICAÇÃO MÉTODO PROMETHEE

6.1.1 Resultados por Decisor

Considerando que a problemática deste trabalho é alocação de água com base em uma análise multicritério, os decisores avaliaram o grau de importância dos critérios para fins de concessão de outorga a partir de julgamentos pessoais, atribuindo-se pesos. Os valores auferidos foram normalizados, de modo que a soma dos pesos dos critérios, em cada dimensão, fosse igual a 1, conforme detalhado no item 5.1.2. O peso normalizado final do critério é o resultado da multiplicação dos pesos normalizados individualmente para as dimensões e para os critérios. O peso normalizado dos critérios para decisor 1 está apresentado na Tabela 6.1, e o conjunto de pesos normalizados para os 11 decisores está na Tabela 6.2.

Para os critérios do aspecto ambiental prevaleceram de forma significativa entre os 11 decisores, a avaliação com grau de importância “Muito Alto”, enquanto que a avaliação com grau de importância “Alto” pelos decisores prevaleceu para os critérios do aspecto econômico, conforme se observa na Figura 6.1. O Gráfico 6.1 apresenta o peso médio dos decisores por dimensão dos critérios.

Tabela 6.1 – Pesos normalizados dos critérios, atribuídos pelo decisor 1

Decisor 1						
Nível 1			Nível 2			
Dimensão	Valor Numérico	Normalizado	Critério	Valor Numérico	Normalizado	Peso
econômica	1	0,25000	Cobrança	0,75	0,42857	0,1071
			Lucratividade	1	0,57143	0,1429
Social	1	0,25000	Geração de emprego	0,75	0,50000	0,1250
			Geração de renda	0,75	0,50000	0,1250
Técnico	1	0,25000	Utilização da disponibilidade de água	1	0,50000	0,1250
			Eficiência do sistema	1	0,50000	0,1250
Ambiental	1	0,25000	Dependência hídrica	0,75	0,23077	0,0577
			Dano a flora e a fauna	1	0,30769	0,0769
			Possibilidade de erosão	0,5	0,15385	0,0385
			Comprometimento da qualidade de água	1	0,30769	0,0769

Tabela 6.2 – Resultados dos pesos normalizados para os 11 decisores

Decisores	Cobrança	Lucratividade	Geração de emprego	Geração de renda	Utilização da disponibilidade	Eficiência do sistema	Dependência hídrica	Dano a flora e a fauna	Possibilidade de erosão	Comprometimento da qualidade de água
Decisor 1	0,1071	0,1429	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,0577	0,0769	0,0385	0,0769
Decisor 2	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,0714	0,0536	0,0536	0,0714
Decisor 3	0,1429	0,1071	0,0833	0,0833	0,1250	0,1250	0,0952	0,0476	0,0952	0,0952
Decisor 4	0,1636	0,1091	0,1818	0,1818	0,0909	0,0909	0,0455	0,0303	0,0455	0,0606
Decisor 5	0,0909	0,0909	0,1364	0,1364	0,1364	0,1364	0,0682	0,0682	0,0682	0,0682
Decisor 6	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
Decisor 7	0,1667	0,0833	0,1250	0,1250	0,1667	0,0833	0,0278	0,0833	0,0556	0,0833
Decisor 8	0,1224	0,0918	0,1607	0,0536	0,1429	0,1429	0,0571	0,0762	0,0762	0,0762
Decisor 9	0,1385	0,0923	0,0923	0,1385	0,0769	0,1538	0,0659	0,0879	0,0879	0,0659
Decisor 10	0,1071	0,1071	0,1633	0,1224	0,1071	0,1071	0,0762	0,0762	0,0571	0,0762
Decisor 11	0,1286	0,0857	0,1286	0,0857	0,1633	0,1224	0,0879	0,0659	0,0440	0,0879

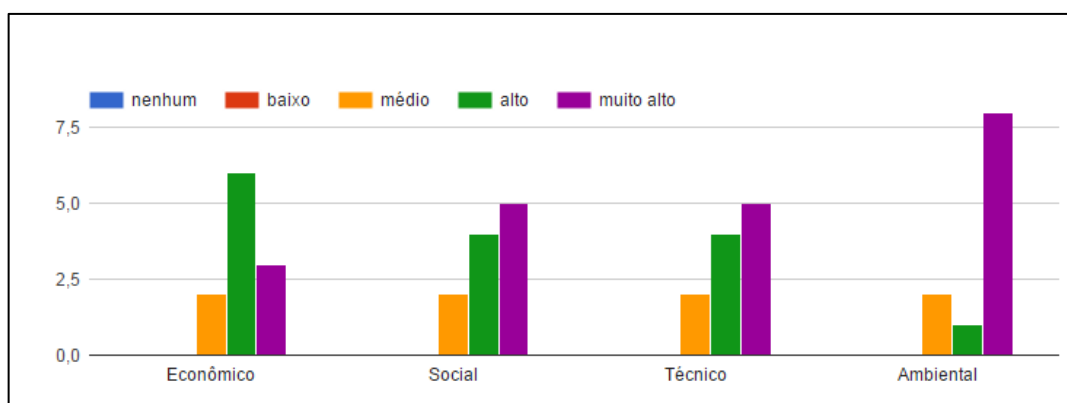


Figura 6.1 – Avaliação dos decisores quanto ao grau de importância dos critérios.

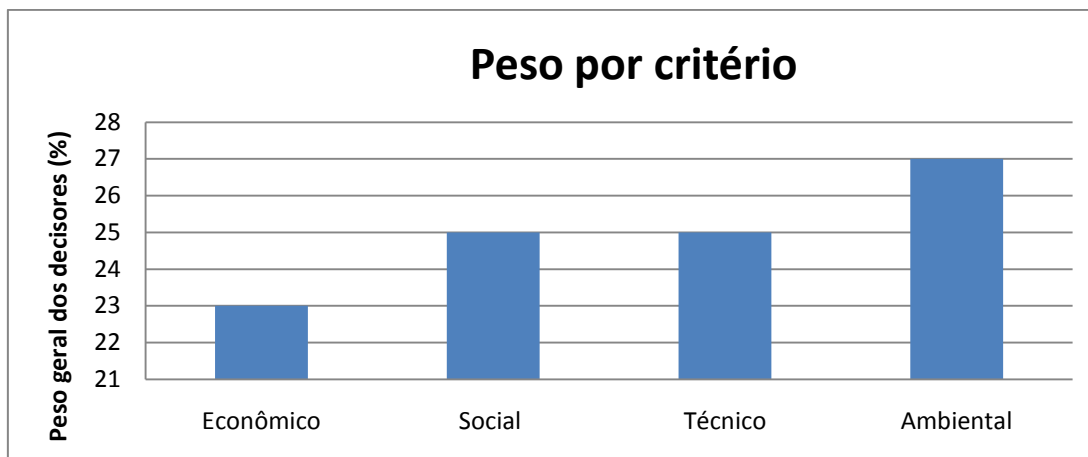


Gráfico 6.1 – Peso médio dos decisores por dimensão dos critérios.

A matriz de diferença de valores dos atributos entre as alternativas foi obtida a partir da Tabela 5.1, que representa a matriz das alternativas versus critérios, com seus respectivos atributos. A Alternativa 1 – Abastecimento humano não foi considerada na análise multicriterial para se obter a hierarquia dos usos prioritários para a concessão de outorga, pois o atendimento ao abastecimento humano é considerado prioritário segundo as legislações federal e estadual voltadas para o gerenciamento de recursos hídricos. O lançamento de efluentes também não foi considerado por não se tratar de um uso não consuntivo e o modelo de outorga analisa a garantia de atendimento às outorgas por meio da alocação de água de usos consuntivos. A outorga para o lançamento de efluentes visa o controle da manutenção da qualidade da água do corpo hídrico receptor, controle este que deve estar associado aos instrumentos de gestão: enquadramento dos corpos hídricos e cobrança pelo uso da água. O lançamento de efluentes é objeto de análise neste estudo por meio do instrumento de cobrança.

As demais alternativas de uso da água consideradas na análise multicriterial foram: **2 - Piscicultura, 3 – Irrigação por microaspersão, 4 - Irrigação por aspersão, 5 – Irrigação por sulco e 6 - Indústria.**

Para dar suporte à construção metodológica foram utilizados os softwares Microsoft Excel e o Visual PROMETHEE, versão 1.4.

6.1.1.1 Ranking individual

A influência dos critérios para cada alternativa de uso da água está apresentada no Gráfico 6.2. Observa-se que para o uso da água na indústria, os critérios econômicos

(cobrança e participação no PIB) e os sociais (geração de emprego e renda) exercem influência positiva. Contribuem ainda positivamente o índice de utilização da disponibilidade (IUD) entre os critérios técnicos e a dependência hídrica e dano a fauna e flora e possibilidade de erosão, dos aspectos ambientais.

Para a alternativa de uso da água na piscicultura, todos os quatro critérios da dimensão ambiental têm influência positiva (dependência hídrica, dano a fauna e flora, possibilidade de erosão e comprometimento da qualidade), bem como os dois critérios da dimensão técnica (IUD e eficiência do uso da água).

Para as alternativas voltadas para a irrigação, principalmente para a irrigação por sulco, os critérios técnicos e ambientais têm influência negativa por representar maior consumo de água e o desenvolvimento da irrigação tem implicação direta no aspecto ambiental, já que se faz necessário desmatar, aumentando a possibilidade de erosão, além de comprometer a qualidade da água pelo uso de agrotóxicos. Por isso, essa atividade torna-se menos preferencial diante das outras, considerando que os decisores atribuíram pesos maiores para os critérios do aspecto ambiental.

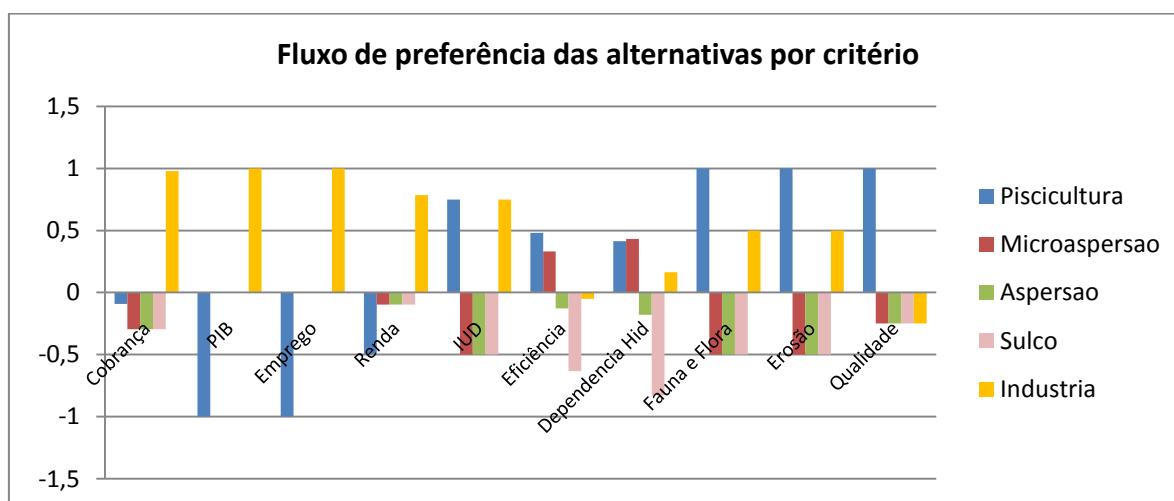


Gráfico 6.2 - Fluxos positivas e negativas dos critérios por alternativa

A partir da matriz das diferenças, foram aplicados os pesos obtidos pelos decisores referentes à avaliação das alternativas com relação aos critérios, as funções de preferência e os respectivos parâmetros para se obter o desempenho entre cada par de alternativas.

Nos Gráficos 6.3 e 6.4 estão apresentados os fluxos positivos e negativos, respectivamente, para cada alternativa, segundo os pesos atribuídos por decisor. O fluxo

positivo para uma determinada alternativa corresponde o quanto esta é preferencial em relação às outras e o fluxo negativo representa o quanto as demais alternativas são preferenciais em relação a ela.

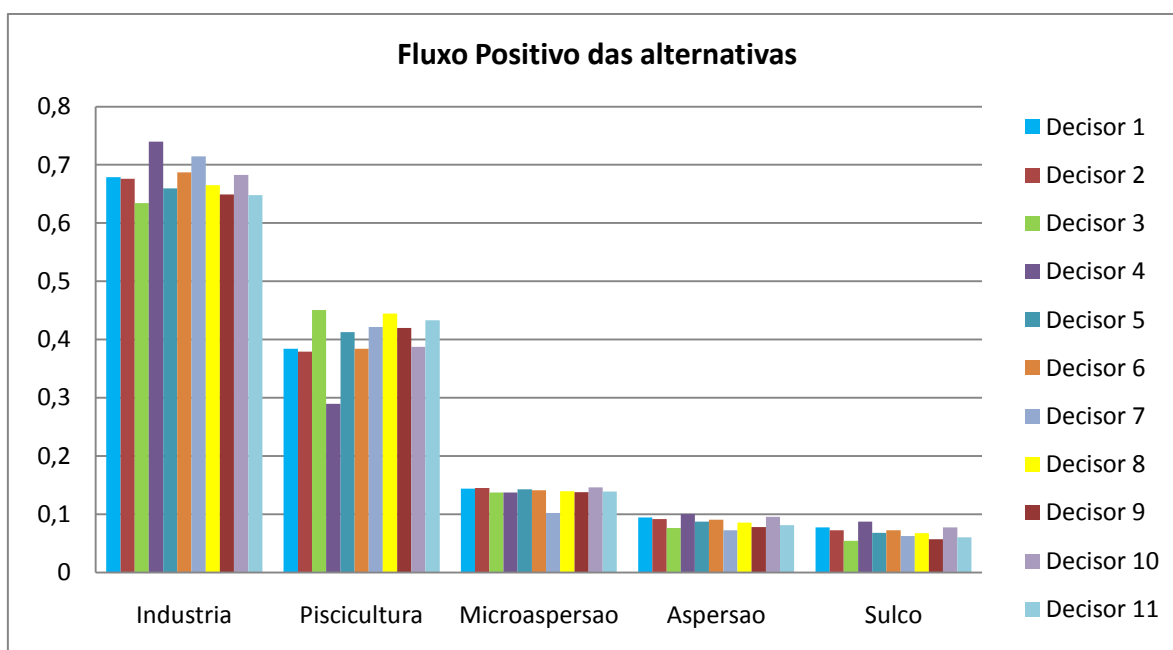


Gráfico 6.3 - Fluxos positivos das alternativas por decisor

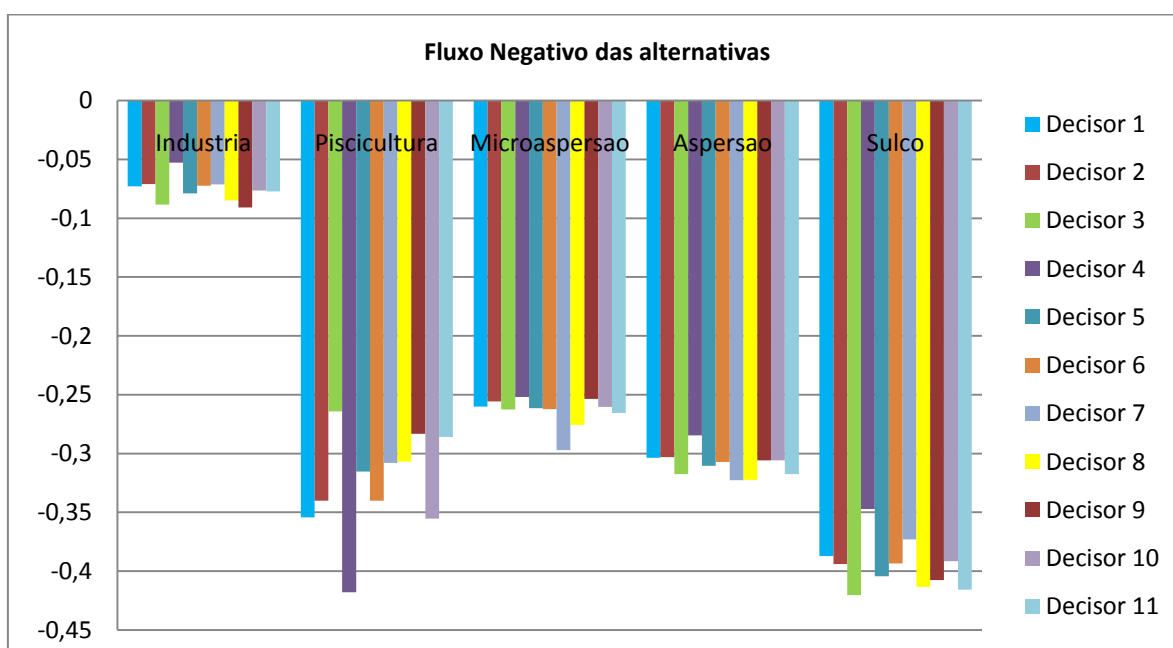


Gráfico 6.4 - Fluxos negativos das alternativas por decisor

Os Gráficos 6.3 e 6.4 demonstram que as alternativas relacionadas a irrigação apresentam fluxos negativos em intensidade maior que o fluxos positivos, indicando que, conforme o peso atribuído pelos decisores, a cada critério, as outras alternativas tiveram maior preferência.

O fluxo líquido, ou seja, a diferença entre os fluxos positivos e negativos, determina a ordem final de prioridades entre as alternativas. No Grafico 6.5, está apresentado o fluxo líquido das alternativas, por decisor.

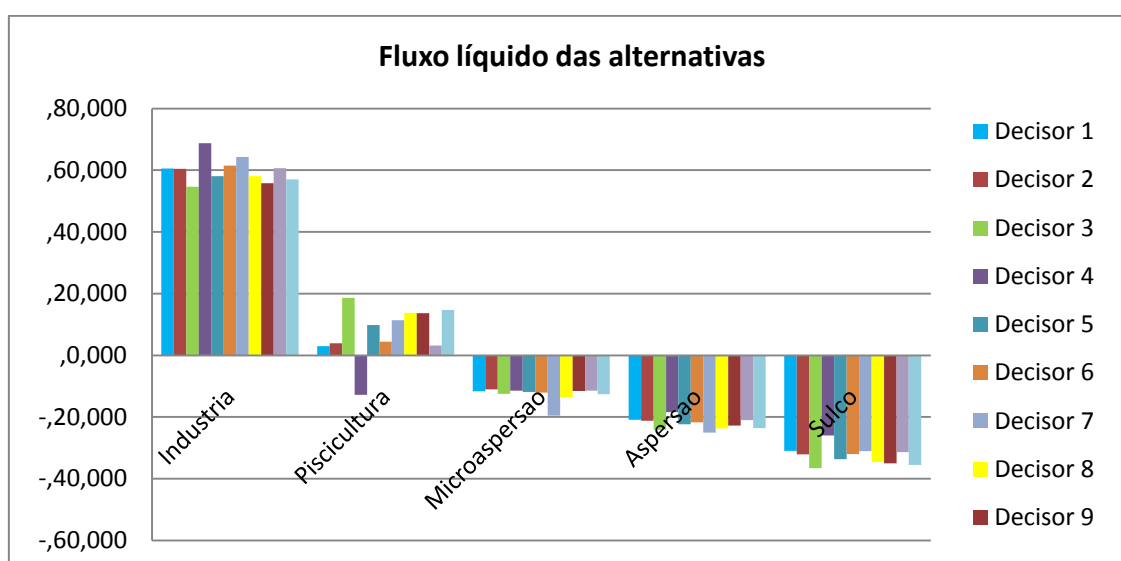


Gráfico 6.5 - Fluxos líquidos das alternativas por decisor

Observa-se no Gráfico 6.5 que para a alternativa da piscicultura, apenas para o Decisor 4 se obteve fluxo líquido negativo. Para os demais decisores, observa-se uma tendência semelhante entre as alternativas, contudo com valores diferenciados dos fluxos líquidos devido aos pesos atribuídos. Com base nos resultados acima apresentados, foram definidos os rankings individuais de prioridade de atendimento aos usos da água para cada decisor, apresentados nas Figuras 6.2a a 6.2d, a seguir:

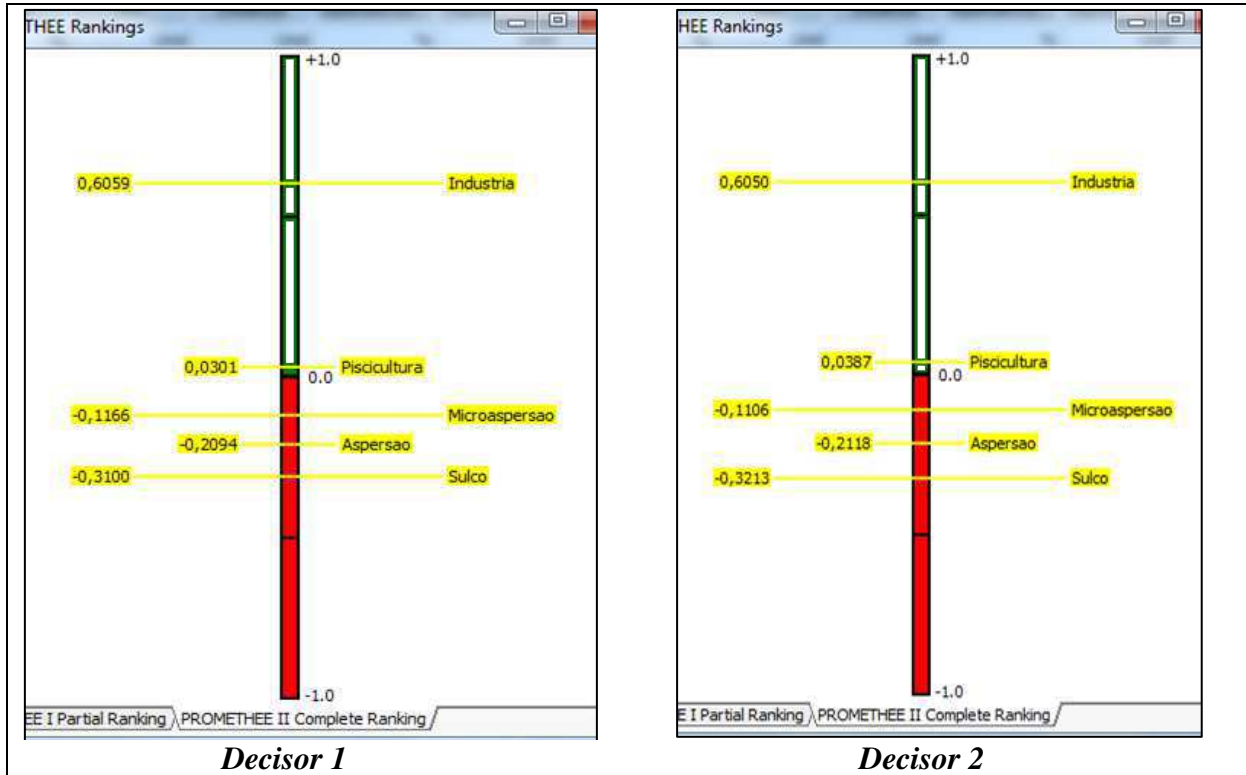


Figura 6.2a – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 1 e 2

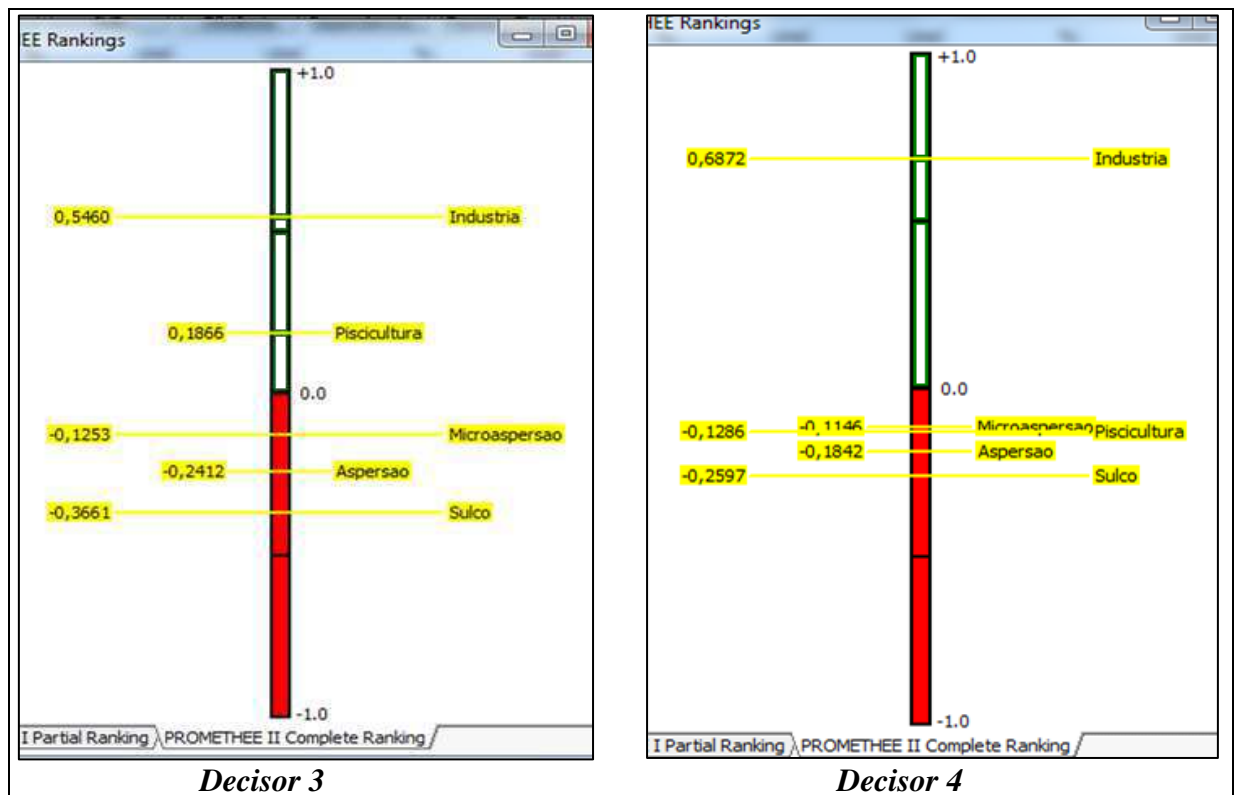


Figura 6.2b – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 3 e 4

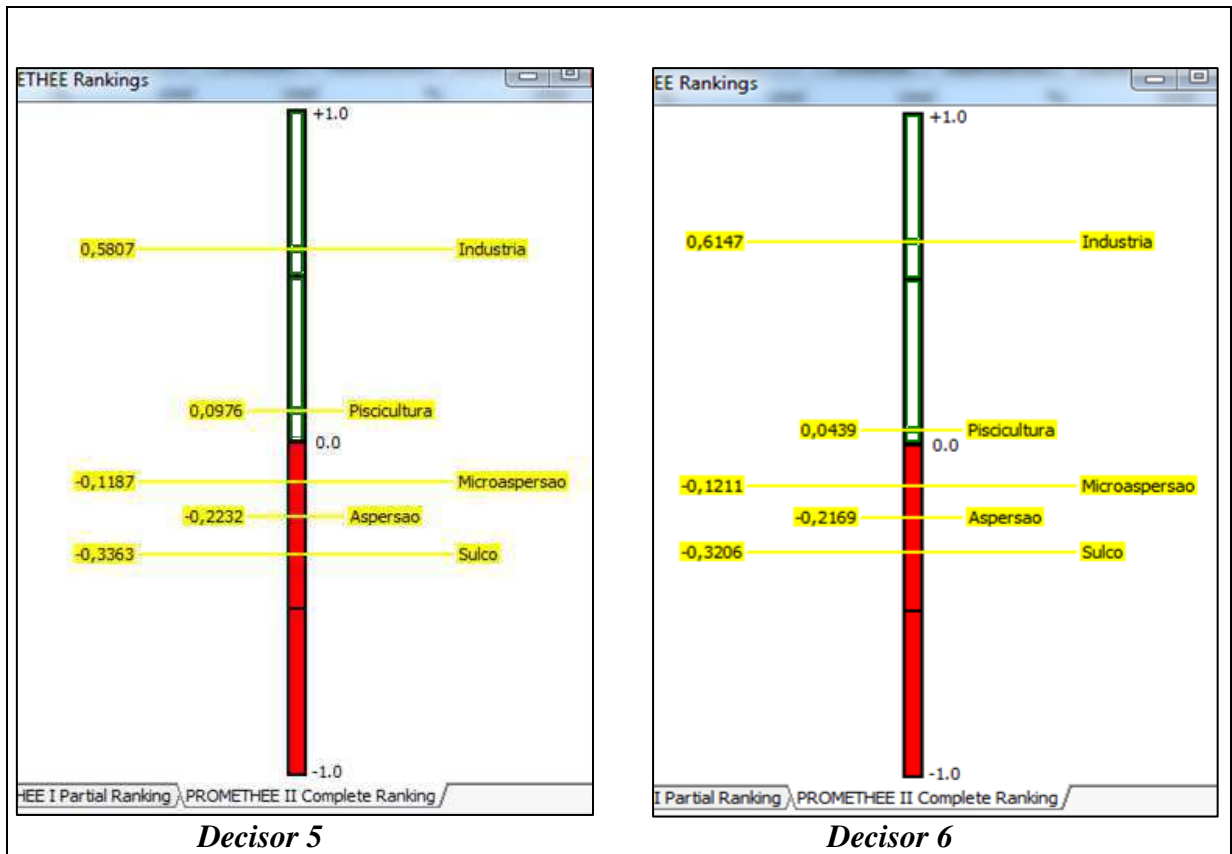


Figura 6.2c – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 5, 6

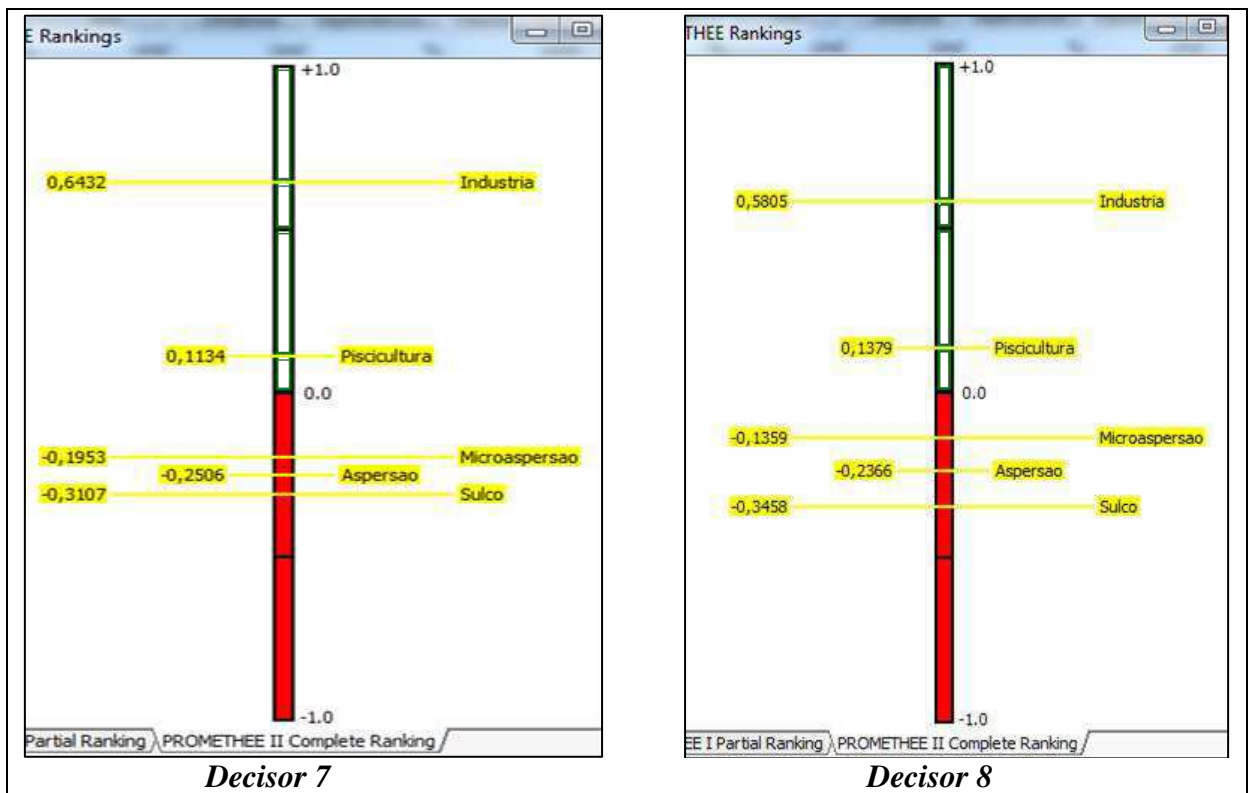


Figura 6.2d – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 7, 8

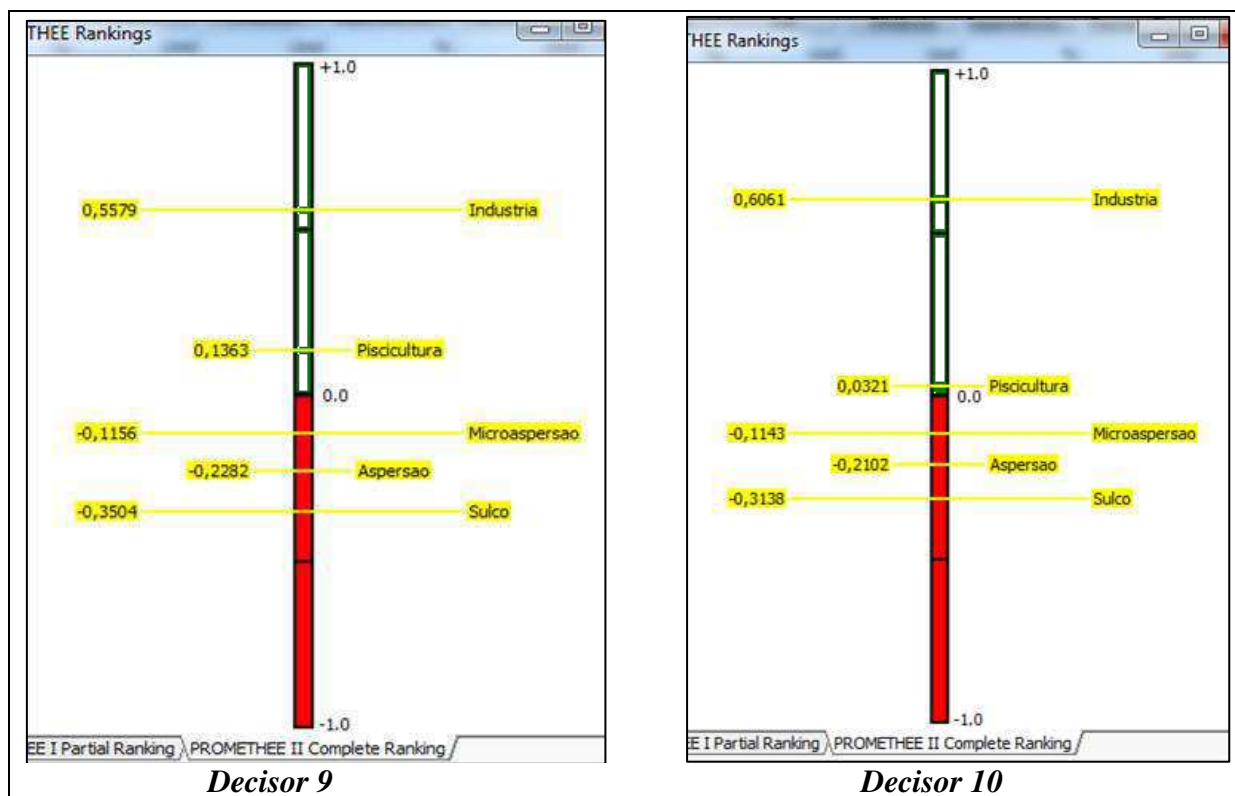


Figura 6.2e – Ranking das prioridades das alternativas dos decisores 9 e 10

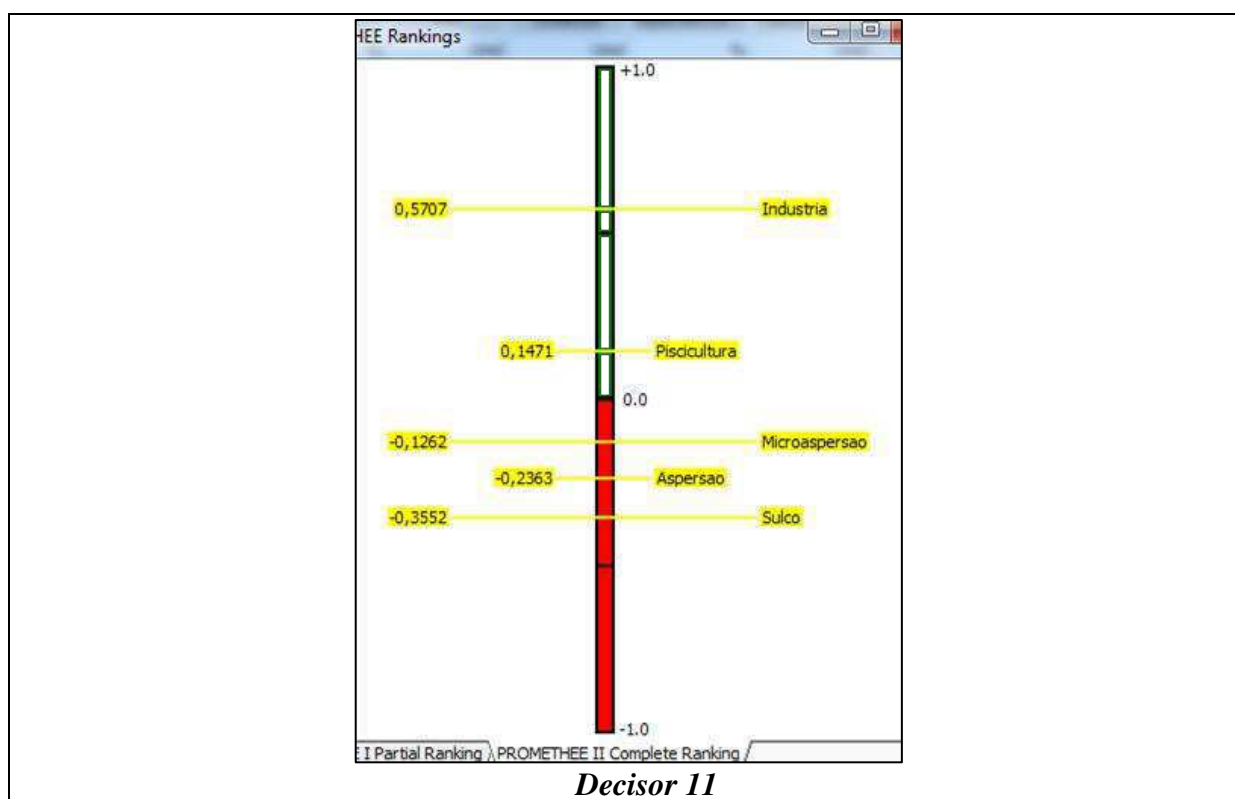


Figura 6.2f – Ranking das prioridades das alternativas do decisor 11

As figuras acima apresentadas demonstram que os usos com maior consumo de água e com maiores implicações ambientais permaneceram nas últimas posições. A piscicultura, no

caso extensiva, ficou em segundo lugar entre 10 dos 11 decisores por ser uma atividade com baixo consumo de água e menores intervenções negativas ao meio ambiente. Contudo, o uso da água na indústria se apresenta em primeiro lugar no ranking por ter o maior número de critérios com fluxo líquido positivo.

A Tabela 6.3 apresenta o resumo do ranking individual dos decisores para as alternativas de uso da água para fins de concessão de outorga, obtidas da análise multicriterial realizada pelo método Promethee II. As alternativas consideradas na análise multicriterial foram da alternativa 2 a 6, já que a alternativa 1 – abastecimento humano é prioritária pela legislação pertinente.

Tabela 6.3 – Ranking individual dos decisores

Alternativas - Usos da Água	Decisor 1	Decisor 2	Decisor 3	Decisor 4	Decisor 5	Decisor 6	Decisor 7	Decisor 8	Decisor 9	Decisor 10	Decisor 11
1 - Abastecimento humano	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 - Piscicultura	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
3 - Irrigação microaspersão	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
4 - Irrigação Aspersão	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5 - Irrigação Sulco	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
6 - Indústria	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Observa-se que não houve variações significativas nas posições das alternativas entre os decisores. De um modo geral, o uso com maior consumo de água (irrigação por sulco) permaneceu na última posição nos resultados individuais. O Decisor 4 apresentou resultado diferente dos demais com a irrigação por microaspersão na terceira posição e a piscicultura na quarta posição. O uso da água para a indústria seria o primeiro para todos os decisores depois de atendido o abastecimento humano.

6.1.2 Resultado Global

6.1.2.1. Análise por dimensão

Na avaliação dos resultados simulados por dimensão pode-se observar como se comportaria o ranking das alternativas, bem como a influência de cada critério nas preferências das alternativas.

Dimensão Econômica

Na dimensão econômica a alternativa do uso da água na indústria tem preferência em relação as demais, onde os critérios cobrança pelo uso da água e participação das atividades no PIB do Estado contribuem para um bom desempenho desta alternativa. Já as demais alternativas apresentam fluxo negativo, com baixo desempenho (Figura 6.3).

O ranking da dimensão econômica está apresentado na Figura 6.4, com o uso da água para a indústria em 1º lugar, seguido do uso na irrigação por microaspersão, aspersão e sulco com fluxos iguais e em último lugar está o uso da água para a piscicultura.

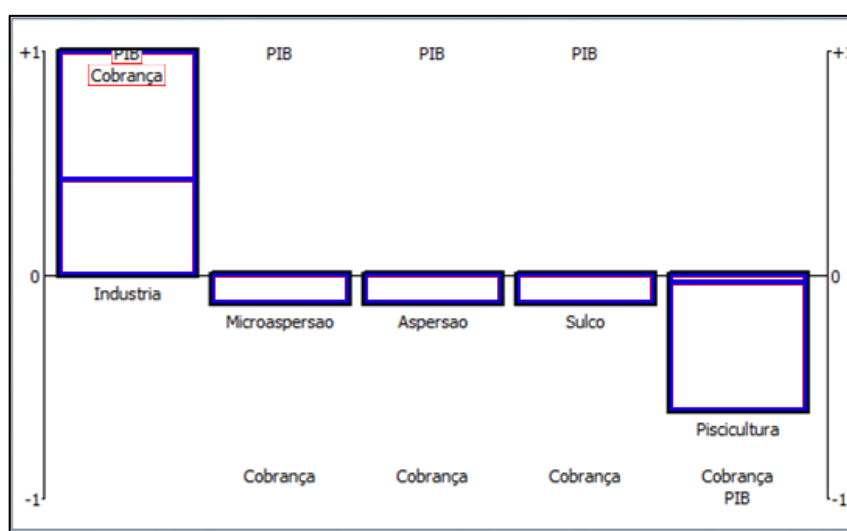


Figura 6.3 – Influência dos critérios da dimensão econômica no desempenho das alternativas

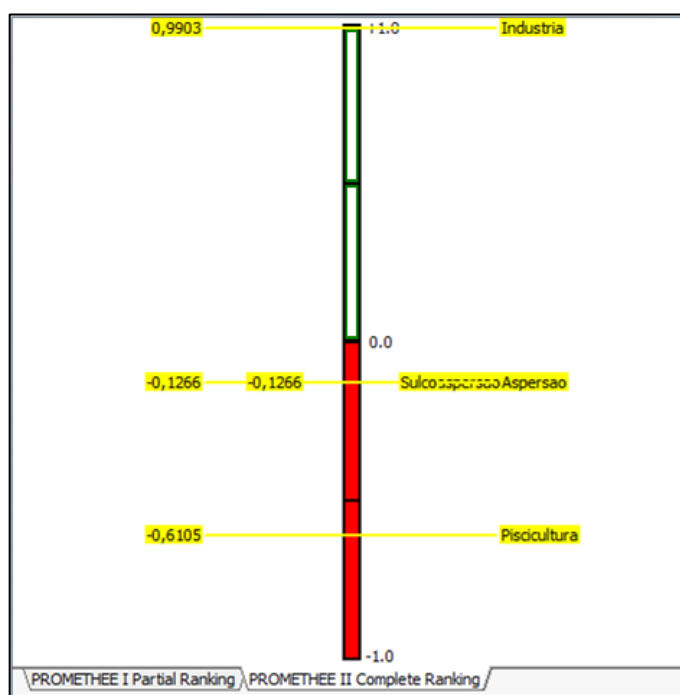


Figura 6.4 – Ranking das alternativas para a dimensão econômica

Dimensão Social

A dimensão apresentou comportamento semelhante a anterior, na qual a alternativa do uso da água na indústria tem preferência em relação as demais. Os critérios geração de emprego e renda contribuem para um bom desempenho desta alternativa. Já as demais alternativas apresentam fluxo negativo, com baixo desempenho (Figura 6.5).

O ranking da dimensão social está apresentado na Figura 6.6, onde o uso da água para a indústria está em 1º lugar, seguido do uso na irrigação por microaspersão, aspersão e sulco com fluxos iguais e em último lugar está o uso da água para a piscicultura.

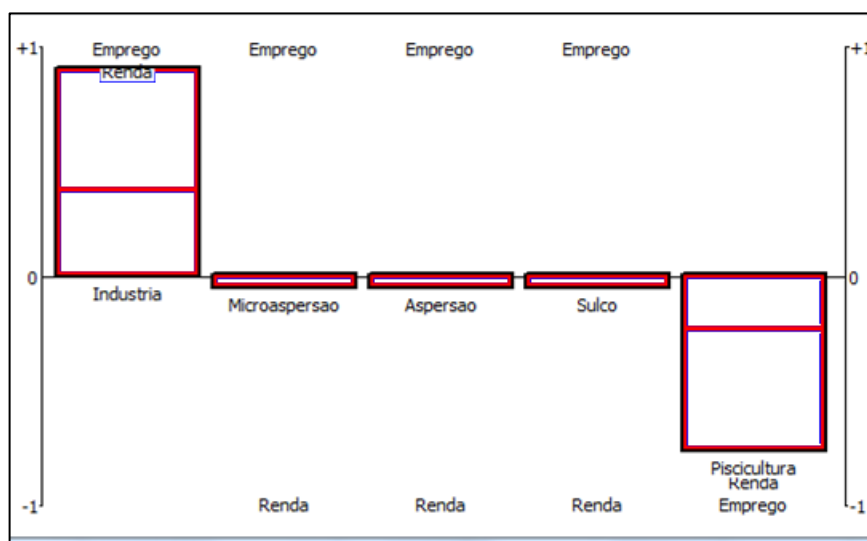


Figura 6.5 – Influência dos critérios da dimensão social no desempenho das alternativas

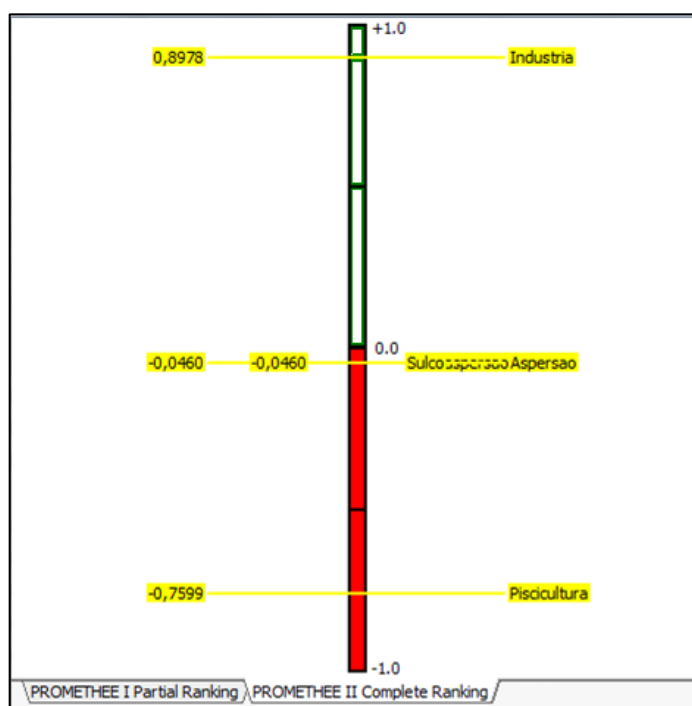


Figura 6.6 – Ranking das alternativas para a dimensão social

Dimensão Técnica

Na dimensão técnica, a alternativa uso da água na piscicultura que ocupava o último lugar nas dimensões anteriores tem preferência em relação as demais alternativas. O bom desempenho da alternativa se dá pelo fluxo positivo alcançado com os critérios de IUD (índice da utilização da disponibilidade) e da eficiência do uso da água. O IUD colabora no desempenho do uso da água na indústria, que ocupa o 2º lugar e a eficiência contribui para o 3º lugar da irrigação por microaspersão (Figura 6.7). As alternativas irrigação por aspersão e por sulco apresentam baixo desempenho na dimensão técnica com base nas escolhas dos decisores.

O ranking da dimensão técnica está apresentado na Figura 6.8, no qual o uso da água para a piscicultura está 1º lugar e a irrigação por sulco, em último.

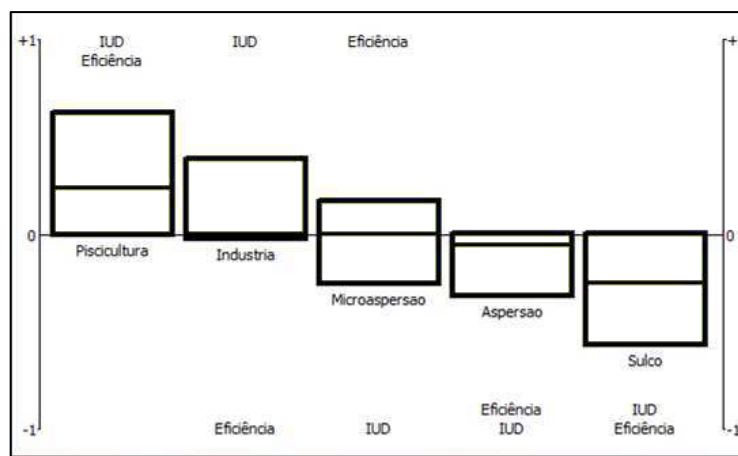


Figura 6.7 – Influência dos critérios da dimensão técnica no desempenho das alternativas

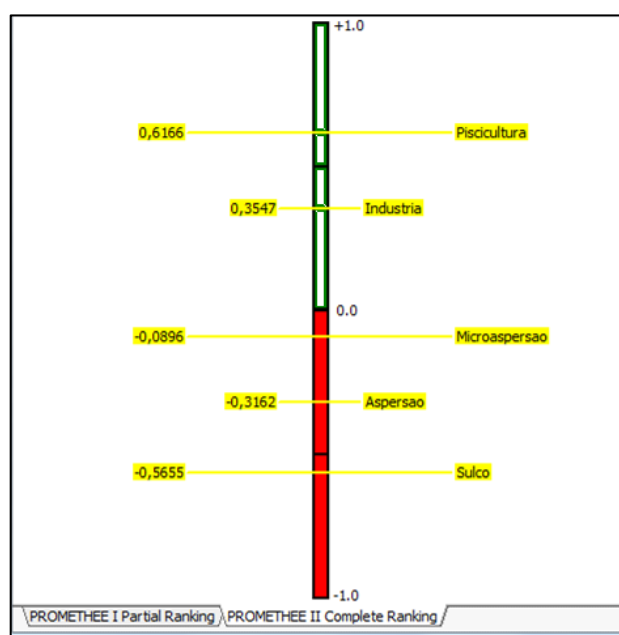


Figura 6.8 – Ranking das alternativas para a dimensão técnica

Dimensão Ambiental

Na dimensão ambiental a alternativa do uso da água na piscicultura, assim como na dimensão técnica, tem preferência em relação as demais alternativas. O bom desempenho da alternativa se dá pelo fluxo positivo alcançado com os critérios dependência hídrica, qualidade de água, danos a fauna e flora e possibilidade de erosão. As alternativas voltadas para o uso da água na irrigação ocuparam as últimas posições entre os decisores, apresentando baixo desempenho para os critérios da dimensão ambiental. Exceção para a irrigação por microaspersão que apresentou fluxo positivo para o critério dependência hídrica devido ao fato do sistema de irrigação localizada ter menor consumo de água em relação aos demais sistemas (Figura 6.9). A Figura 6.10 apresenta o ranking da dimensão ambiental, com o uso da água para a piscicultura em 1º lugar e a irrigação por sulco, em último.

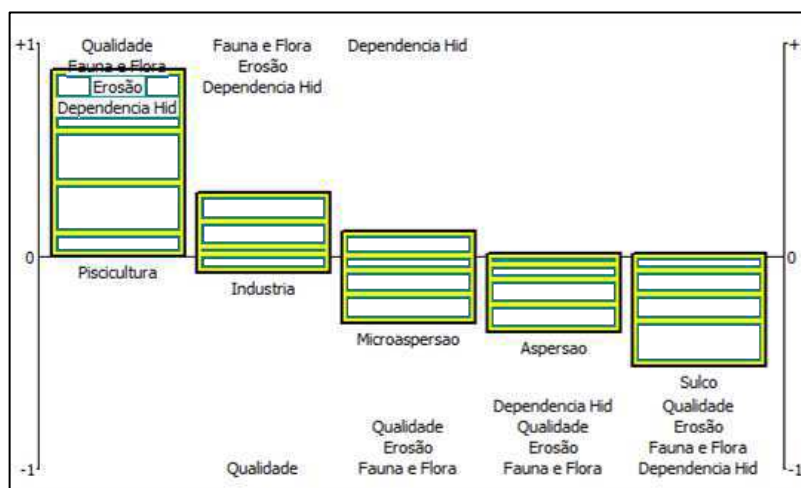


Figura 6.9 – Influência dos critérios da dimensão ambiental no desempenho das alternativas

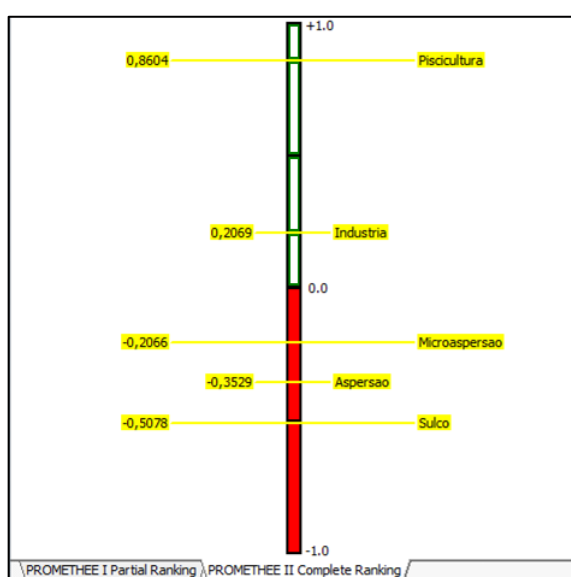


Figura 6.10 – Ranking das alternativas para a dimensão ambiental

Vale ressaltar que, dependendo do perfil dos decisores envolvidos em uma análise multicriterial, outros resultados poderão ser obtidos para o ranking das alternativas, pois cada decisor vê o problema de forma diferente, conforme seu sistema de valores, objetivos e experiências.

Outro aspecto importante a se destacar é que a piscicultura, que ocupa o primeiro lugar nas dimensões técnica e ambiental, nesta pesquisa, foi considerada como piscicultura extensiva. Contudo, apesar de seus efluentes não apresentarem altas concentrações de poluentes quando comparados aos efluentes industriais e municipais, a piscicultura tem um impacto sobre o ambiente. Diversos autores alertam para o fato da atividade de piscicultura, em especial em tanques-rede, ter potencial de poluição sobre o ecossistema aquático devido os efluentes gerados, necessitando-se de rígido controle técnico.

6.1.3 Ranking Global

O ranking global que representa as preferências do grupo de 11 decisores foi obtido utilizando-se o PROMETHEE II com as mesmas alternativas e adotando-se cada um dos decisores como um critério, conforme explicado no item 3.1.3. Os valores dos atributos são os fluxos líquidos das decisões individuais, conforme apresentados na Tabela 6.4. O fluxo líquido global foi obtido pela Equação 3.5.

Tabela 6.4 – Matriz da avaliação global

Decisores	Critérios											Decisão Global	
	Decisor 1	Decisor 2	Decisor 3	Decisor 4	Decisor 5	Decisor 6	Decisor 7	Decisor 8	Decisor 9	Decisor 10	Decisor 11		
Pesos	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	Fluxo Líquido Global
Alternativas	Fluxos líquidos individuais												
1 - Indústria	0,606	0,605	0,546	0,687	0,581	0,615	0,643	0,581	0,558	0,606	0,571	0,600	
2 - Piscicultura	0,030	0,039	0,187	-0,129	0,098	0,044	0,113	0,138	0,136	0,032	0,147	0,076	
3 - Irrigação microaspersão	-0,117	-0,111	-0,125	-0,115	-0,119	-0,121	-0,195	-0,136	-0,116	-0,114	-0,126	-0,127	
4 - Irrigação Aspersão	-0,209	-0,212	-0,241	-0,184	-0,223	-0,217	-0,251	-0,237	-0,228	-0,210	-0,236	-0,223	
5 - Irrigação Sulco	-0,310	-0,321	-0,366	-0,260	-0,336	-0,321	-0,311	-0,346	-0,350	-0,314	-0,355	-0,326	

Em relação ao índice de inconsistência, o valor máximo para este modelo é de 0,20, isto é, o modelo deve apresentar uma consistência superior a 80% (PROMETHEE, 2012). A consistência alcançada na análise multicriterial realizada para o problema em estudo foi de 92,3% (Figura 6.11).

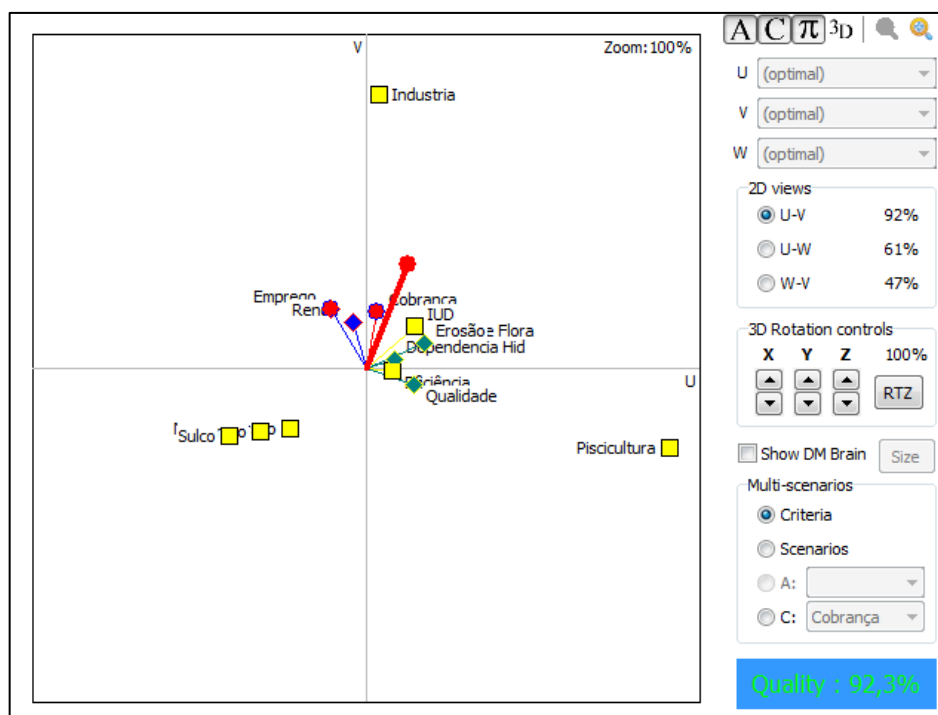


Figura 6.11 – Consistência dos Resultados simulados no Visual Promethee

A partir dos resultados, determinou-se o ranking global, conforme apresentado na Figura 6.12.

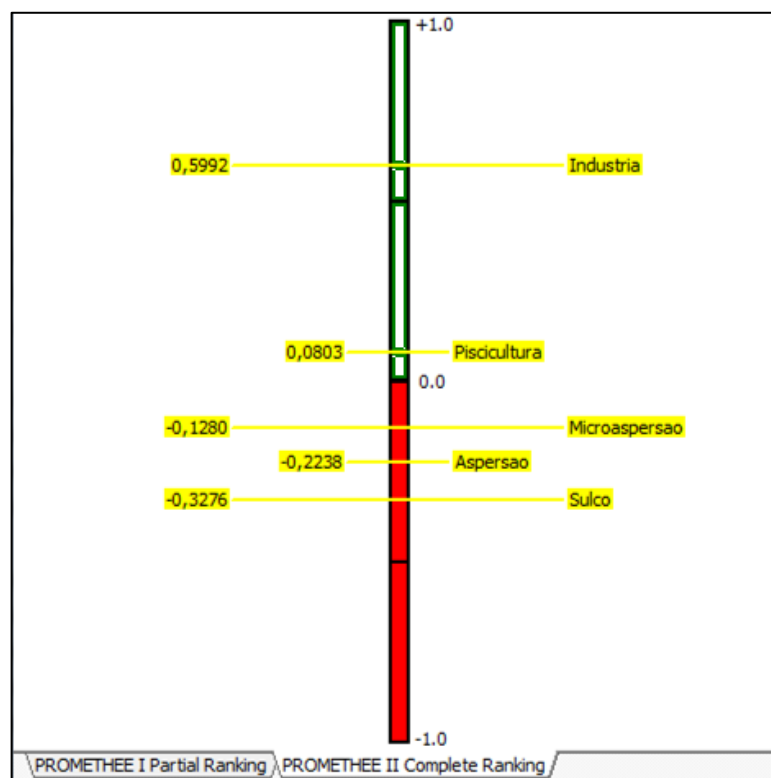


Figura 6.12- Ranking global das alternativas

Tabela 6.6 – Equações e parâmetros adotados na simulação 2

Critérios	Cobrança pelo uso da água	PIB	Geração de emprego	Geração de renda	Índice de utilização da disponibilidade - IUD	Eficiência do sistema	Dependência hídrica	Dano a flora e a fauna	Possibilidade e de erosão	Comprometimento da qualidade de água
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Unidade	R\$/m3	%	%	%	unid	unid	%	unid	unid	unid
Max/Min	min	max	max	max	min	max	min	min	min	min
Função	Forma V-3	Usual-1	Usual-1	Forma V-3	Forma U-2	Linear-5	Linear-5	Usual-1	Usual-1	Usual-1
Q: indiferença							0,9			
P: Preferência	0,011			30	0,3	0,59	24			

Tabela 6.7 – Equações e parâmetros adotados na simulação 3

Critérios	Cobrança pelo uso da água	PIB	Geração de emprego	Geração de renda	Índice de utilização da disponibilidade - IUD	Eficiência do sistema	Dependência hídrica	Dano a flora e a fauna	Possibilidade e de erosão	Comprometimento da qualidade de água
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Unidade	R\$/m3	%	%	%	unid	unid	%	unid	unid	unid
Max/Min	max	max	max	max	min	max	min	min	min	min
Função	Forma V-3	Usual-1	Usual-1	Forma V-3	Forma U-2	Forma V-3	Forma V-3	Nível-4	Nível-4	Usual-1
Q: indiferença								0,3	0,24	
P: Preferência	0,011			30	0,3	0,59	25	0,9	0,64	

Os resultados obtidos do ranking das alternativas, por decisor, aplicando o Visual Promethee 1.4 estão apresentadas nas Figuras 6.14, 6.15 e 6.16 para as simulações 1, 2 e 3, respectivamente.

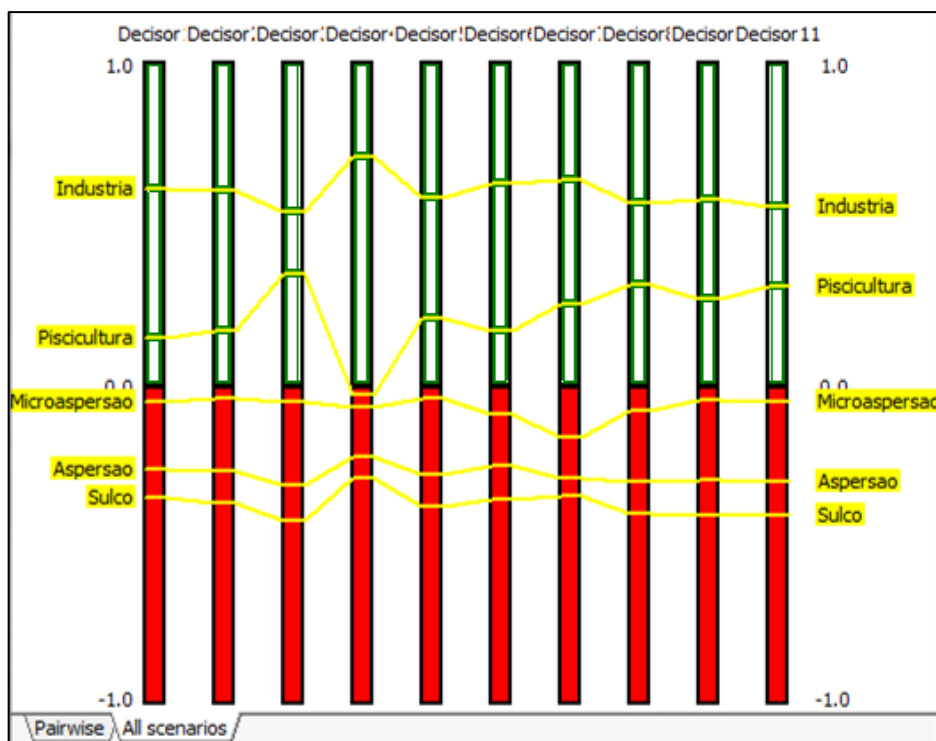


Figura 6.14 – Resultado do ranking das alternativas, por decisores, para a simulação 1

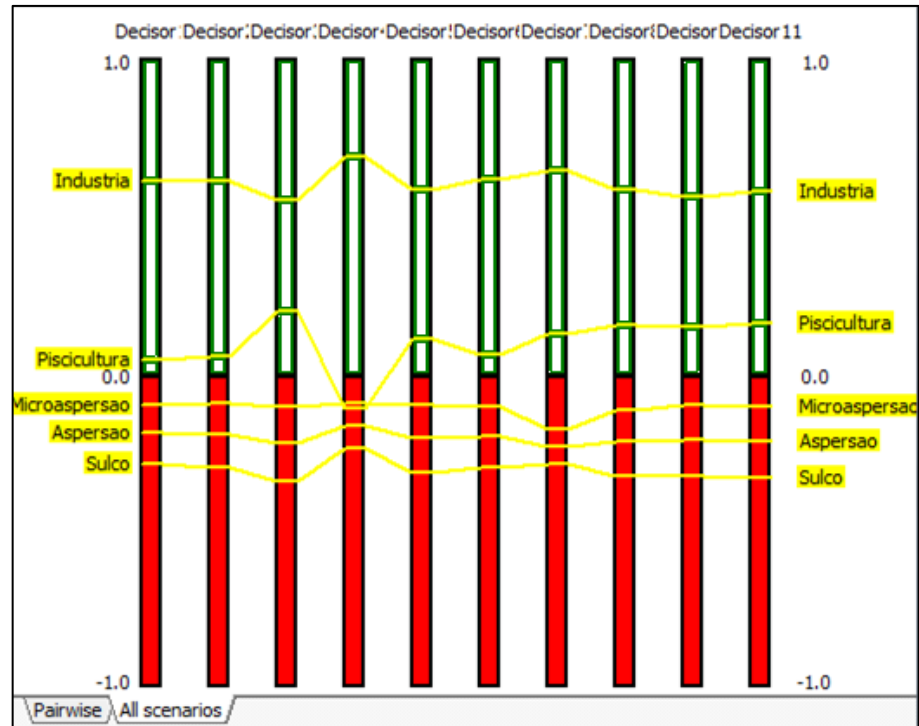


Figura 6.15 – Resultado do ranking das alternativas, por decisores, para a simulação 2

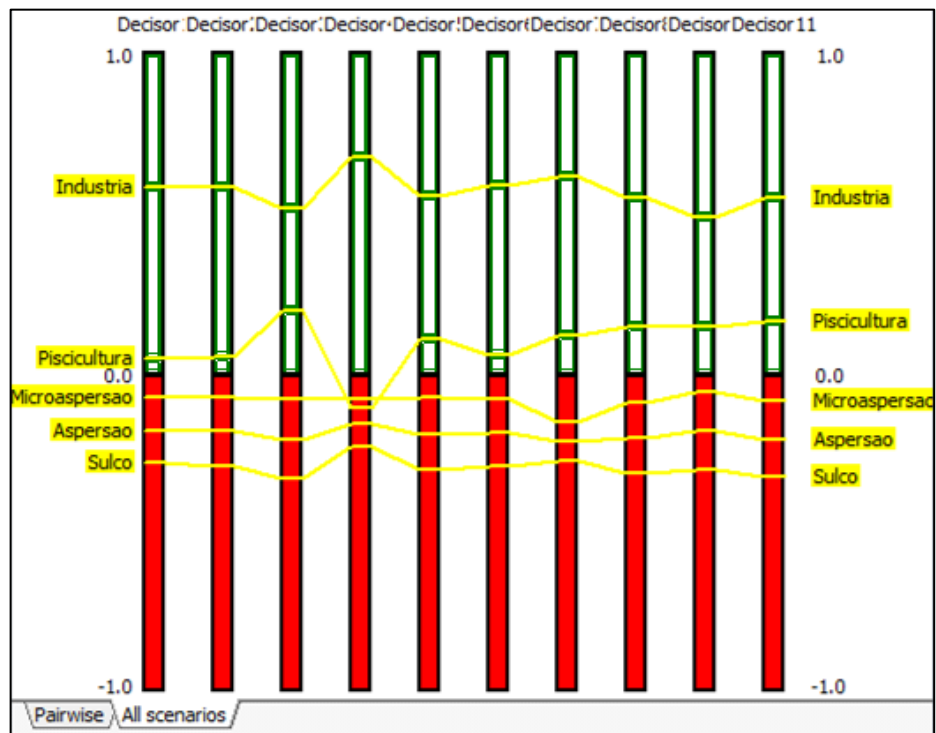


Figura 6.16 – Resultado do ranking das alternativas, por decisores, para a simulação 3.

Nas três simulações verificou-se que as alternativas permanecem nas mesmas posições para 10 dos 11 decisores consultados nesta pesquisa. Exceção o Decisor 4, que nas simulações

2 e 3 apresentou a alternativa da Piscicultura ocupando a terceira posição no ranking das alternativas.

6.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO DE OUTORGA

6.2.1 Reservatório Poções

As vazões mensais da outorga concedida para o reservatório Poções estão apresentadas na Tabela 6.8. A outorga apresentada foi concedida pela ANA, por se tratar de um reservatório de domínio Federal, construído pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas).

Tabela 6.8 - Pedido de Outorga (m^3/s) – Açude Poções

Nº	Tipo de Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Ser	Out	Nov	Dez
1	abast	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Análise do Cenário C1-A

Neste cenário, existe apenas a demanda para o abastecimento humano. O resultado da simulação está apresentado na Tabela 6.9.

Tabela 6.9. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C1-A - Poções.

Cenário C1-A- Poções			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
1	Abastecimento Humano	0,01	100,00

Para o reservatório Poções, o resultado da aplicação do modelo de outorga demonstra que a outorga atual pode ser atendida em todo o horizonte da simulação, 55 anos, sem problemas de atendimento.

A Figura 6.17a apresenta o atendimento à outorga para o abastecimento humano, sem falhas, com garantia de 100% e os volumes acumulados no reservatório Poções, no final do período da simulação.

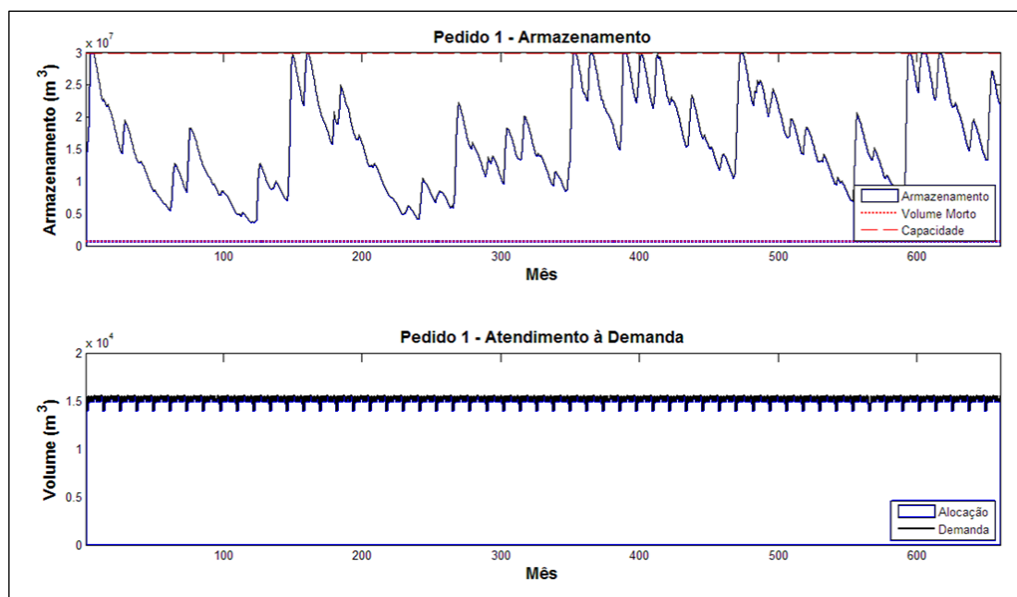


Figura 6.17a- Volumes armazenados no reservatório Poções e sem falhas no atendimento à outorga-C1-A.

Análise do Cenário C2-A

Neste cenário o atendimento à outorga para o abastecimento humano foi analisado considerando um incremento de vazão de $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ do PISF. A garantia de atendimento foi de 100%, conforme já esperado pelo cenário anterior (Tabela 6.10).

Os volumes acumulados no reservatório ao longo do período de simulação foram bem superiores em relação ao cenário anterior, atingindo sempre a capacidade máxima de armazenamento do reservatório Poções (Figura 6.17b). Neste sentido, não havendo déficit hídricos em Poções, entende-se que o reservatório deverá ser operado para que a vazão do PISF, não captada em Poções, seja disponibilizada para os reservatórios a jusante, minimizando as perdas por evaporação que são maiores ao se manter o reservatório sempre em sua capacidade máxima de acumulação.

Tabela 6.10. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C2-A - Poções.

Cenário C2-A - Poções			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3/s^{-1})	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	0,01	100,00

Análise do Cenário C1-A

Para este Cenário, as prioridades de atendimento após o abastecimento humano são, respectivamente, as novas solicitações para irrigação por microaspersão (localizada) e irrigação por aspersão. As demandas foram totalizadas por tipo de uso e a demanda para irrigação é destinada a atender o cultivo de culturas sazonais. Os resultados da simulação estão apresentados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12. Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A - Cordeiro.

Cenário C1-A - Cordeiro			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m ³ /s)	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento humano	0,280	95,00
Novas Solicitações			
2	Irrigação localizada	0,041	87,58
3	Irrigação aspersão	0,009	87,58

As garantias de atendimento à demanda que ficaram abaixo do mínimo estabelecido pelo Decreto Estadual nº 19.260/97, que regulamenta a outorga no Estado da Paraíba (90% de garantia), foram aquelas referentes as novas solicitações de outorga para a irrigação localizada e por aspersão, com valores iguais de 87,58%. A demanda já outorgada para abastecimento humano seria atendida com 95% de garantia. A falha ocorre em torno do mês 130 da simulação.

Para testar a priorização do atendimento realizada pelo modelo de outorga, foi realizada uma simulação considerando apenas a demanda para o abastecimento humano e a garantia de atendimento não apresentou melhoria no resultado, permanecendo em 95%. Isso demonstra que na simulação, quando o sistema é condicionado a atender as demandas pelas prioridades, um novo pedido só é atendido após o atendimento às outorgas com maior prioridade, que para este cenário é a outorga para o abastecimento humano.

Para situações de escassez hídrica, a importância de se fazer simulações com base em prioridade de atendimento, a qual poderá ser definida por tomadores de decisão, está em fornecer subsídios aos órgãos gestores quanto à avaliação de cenários de concessão de novas outorgas associada a uma garantia de atendimento.

As Figuras 6.18a, 6.18b, 6.18c apresentam as falhas de atendimento às outorgas para o abastecimento humano e a irrigação e os volumes acumulados no reservatório Cordeiro, no final do período da simulação. Os volumes existentes nos períodos de falha de atendimento

são reservas para garantir as demandas prioritizadas na simulação.

Na Figura 6.18a, observa-se que uma pequena falha no atendimento ao abastecimento humano, o qual é prioritário, ocorre no mês 120, quando a cota do reservatório atingiu o volume morto. As falhas para as outorgas para a irrigação localizada e por sulco (Figuras 6.18b e 6.18c) ocorrem desde o início da simulação até o mês 120. Esta análise se faz interessante para a solicitação de outorgas para irrigar culturas perenes.

Outro aspecto importante para se observar é que a falha ocorrida para a agricultura irrigada nos primeiros 120 meses é devido ter sido neste mês que ocorreu a falha para o abastecimento humano e se a água fosse retirada antes para atender a agricultura, as falhas para o abastecimento humano iriam aumentar. Observa-se ainda que nos meses subsequentes não ocorreram falhas para o abastecimento, portanto a condição de volume inicial (baixo) do reservatório, anos subsequentes de seca e a operação do sistema podem alterar os resultados.

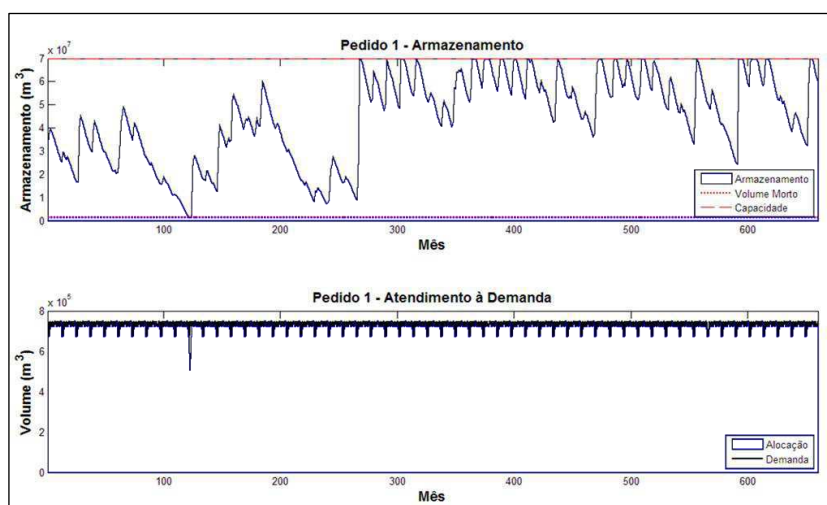


Figura 6.18a- Volumes armazenados no reservatório Cordeiro e falhas no atendimento ao abastecimento humano – Cenário C1-A.

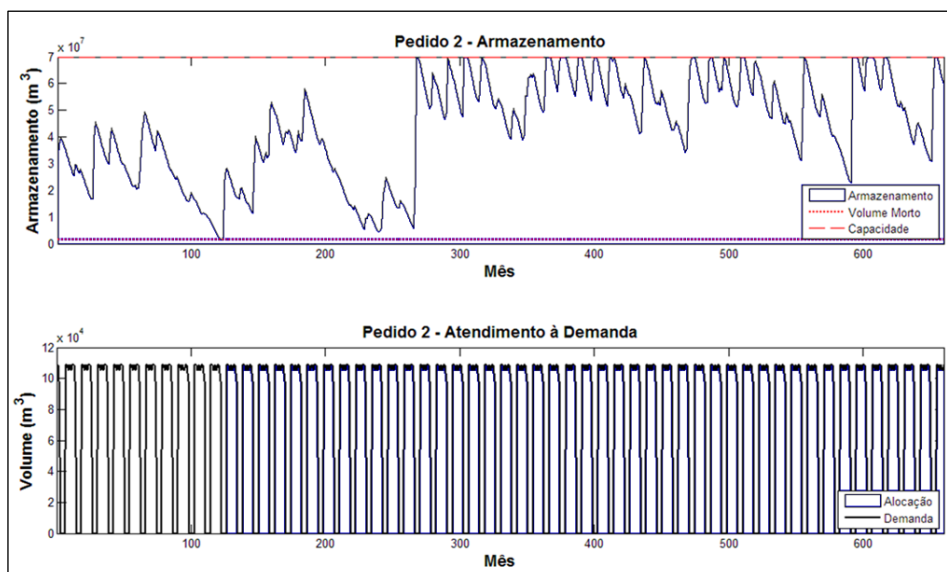


Figura 6.18b- Volumes armazenados no reservatório Cordeiro e falhas no atendimento à irrigação localizada – Cenário C1-A.

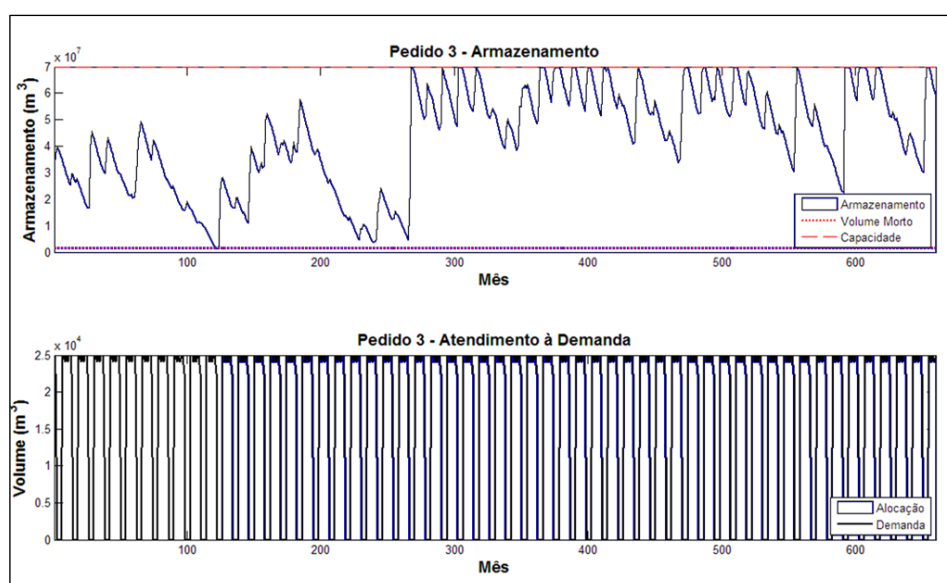


Figura 6.18c- Volumes armazenados no reservatório Cordeiro e falhas no atendimento à irrigação por aspersão – Cenário C1-A.

6.2.3 Reservatório Camalaú

As vazões mensais da outorga concedida para o reservatório Camalaú estão apresentadas na Tabela 6.13. A outorga simulada está registrada como vencida e a simulação é válida para o caso de reavaliar a renovação da mesma.

Tabela 6.13 - Pedido de Outorga (m^3/s) – Açude Camalaú

N^o	Tipo de Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	abast	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

Análise do Cenário C1-A

Neste cenário, existe apenas a demanda para o abastecimento humano. O resultado da simulação está apresentado na Tabela 6.14.

Tabela 6.14. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C1-A – Camalaú.

Cenário C1-A – Camalaú			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
1	Abastecimento Humano	0,015	100,00

Para o reservatório Camalaú o resultado da aplicação do modelo de outorga demonstra que a solicitação de outorga pode ser atendida em todo o horizonte da simulação, 55 anos, sem problemas de atendimento.

A Figura 6.19 apresenta o atendimento à outorga para o abastecimento humano, sem falhas, com garantia de 100% e os volumes acumulados no reservatório Camalaú, no final do período da simulação.

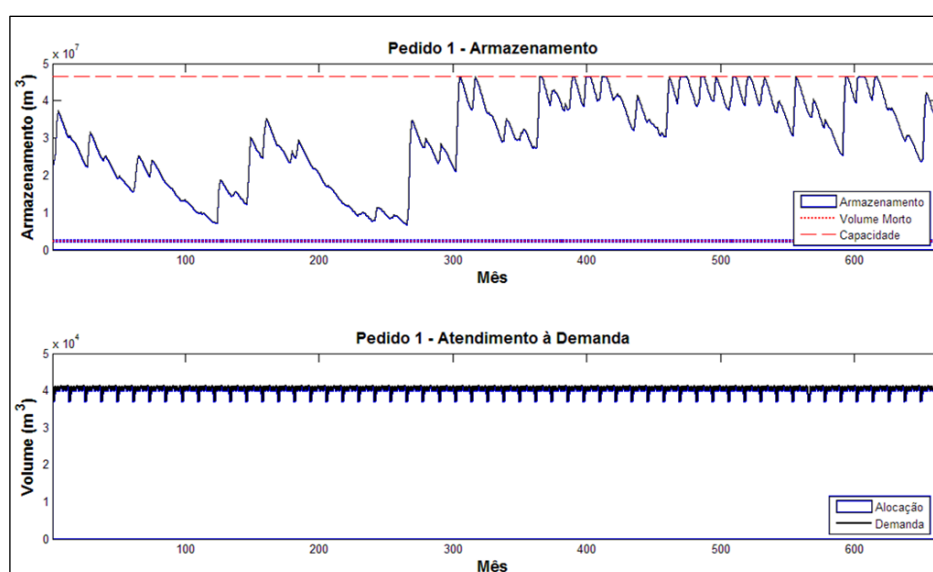


Figura 6.19 - Volumes armazenados no reservatório Camalaú e sem falhas no atendimento à outorga-Cenário C1-A.

Análise do Cenário C1-B

Considerando que, já no cenário anterior, a outorga para o abastecimento humano foi atendida com garantia de 100%, essa situação iria permanecer quando acrescidas as vazões vertidas do reservatório Poções aos influxos do reservatório Camalaú (Tabela 6.15). Na Figura 6.20, fica demonstrado que o reservatório alcançaria sua capacidade máxima de acumulação nos primeiros meses da simulação, o que não ocorreu no cenário anterior.

Tabela 6.15. Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C1-B – Camalaú.

Cenário C1-B – Camalaú			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	0,015	100,00

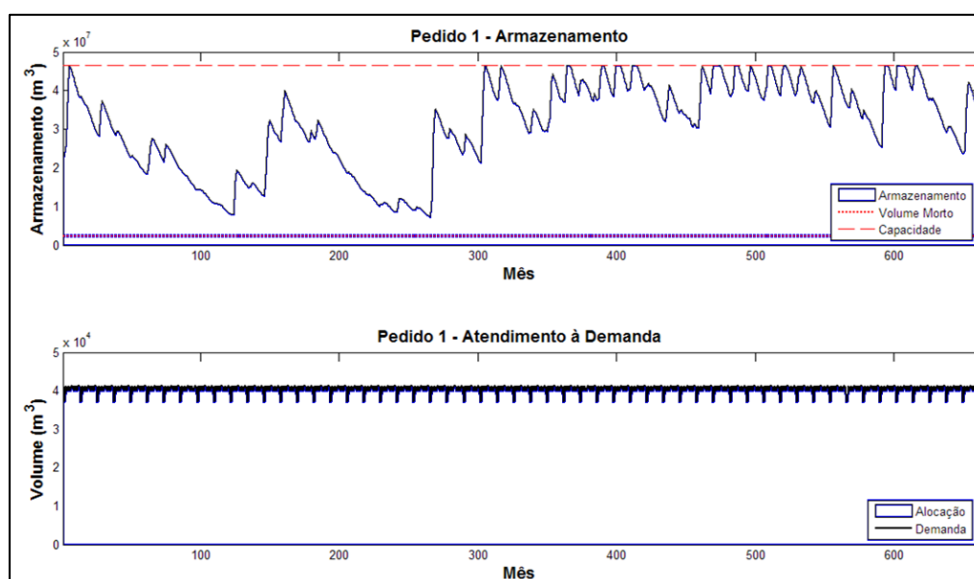


Figura 6.20- Volumes armazenados no reservatório Camalaú e sem falhas no atendimento à outorga-Cenário C1-B.

Análise do Cenário C2-A

Neste cenário, conforme esperado, a garantia de atendimento à outorga para o abastecimento humano foi de 100% (Tabela 6.16), permanecendo o volume do reservatório na capacidade máxima de acumulação ao longo do período de simulação, com o incremento da vazão do PISF, neste caso advinda da operação do reservatório de Poções (Figura 6.21).

No reservatório Camalaú, considerando não haver déficit para o atendimento às

demandas existentes, a vazão do PISF deverá ser liberada para incrementar os afluxos dos reservatórios a jusante.

Tabela 6.16 Resultado da garantia de atendimento às demandas do Cenário C2-A – Camalaú.

Cenário C2-A – Camalaú			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	0,015	100,00

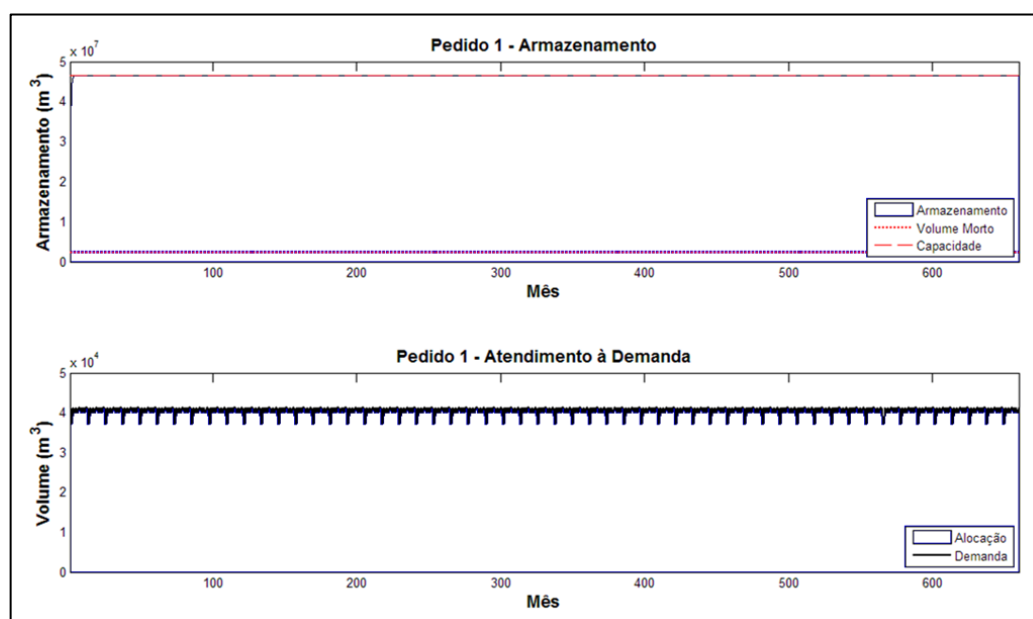


Figura 6.21- Volumes armazenados no reservatório Camalaú e sem falhas no atendimento à outorga-Cenário C2-A.

6.2.4 Reservatório Eptácio Pessoa

As prioridades de atendimento às outorgas para os cenários C1-A, C1-B e C2-A e C2-B são as seguintes para o reservatório Eptácio Pessoa: 1-abastecimento humano; 2-irrigação localizada; 3-irrigação por aspersão; 4-irrigação por sulco; 5- novas solicitações para irrigação localizada; 6- novas solicitações para irrigação por sulco.

Os valores das outorgas concedidas e em fase de solicitação (andamento) para o reservatório Eptácio Pessoa estão apresentados na Tabela 6.17, por tipo de solicitação e ordem de prioridade de atendimento.

Tabela 6.17 - Pedidos de Outorga por ordem de prioridade (m³/s) – Açude Epitácio Pessoa

<i>N^o</i>	<i>Tipo de Uso</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
1	Abast	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071
2	Abast	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230	1,230
3	irrig localiz	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
4	irrig localiz	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
5	irrig localiz	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
6	irrig localiz	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
7	irrig localiz	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8	irrig aspersão	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
9	irrig sulco	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
10	irrig local and	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
11	irrig sulco and	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

Com base em intervenções já ocorridas pelo Ministério Público e por órgãos gestores de recursos hídricos com relação aos irrigantes clandestinos no entorno do reservatório Epitácio Pessoa, com área plantada estimada em 1.000 ha, as solicitações de outorga apresentadas aparentemente subestimam a necessidade líquida requerida, o que indica que muitos agricultores estão fazendo uso da água do reservatório sem estar devidamente regularizado.

Análise dos Cenários C1-A e C1-B

Para o Cenário C1-A, as prioridades de atendimento após o abastecimento humano são, respectivamente, as irrigações por micro aspersão, aspersão e por sulco. Em seguida, priorizaram-se as novas solicitações para a irrigação localizada e por sulco. As demandas foram totalizadas por tipo de uso e a demanda para irrigação é destinada a atender o cultivo de culturas sazonais. Os resultados da simulação estão apresentados na Tabela 6.18. Condições semelhantes foram simuladas para o Cenário C1-B, contudo, foram acrescentadas as vazões afluentes ao reservatório Epitácio Pessoa, os vertimentos dos reservatórios Camalaú e Cordeiro. As garantias de atendimento às outorgas estão apresentadas na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A e C1-B – Epitácio Pessoa.

Cenário C1-A – Epitácio Pessoa			Cenário C1-A s/ vertimento	Cenário C1-B c/ vertimento
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m ³ /s)	Garantia (%)	Garantia (%)
Usos Outorgados				
1	Abastecimento Humano	1,301	98,94	99,55
2	Irrigação Localizada	0,005	72,12	78,18
3	Irrigação Aspersão	0,002	71,82	78,18
4	Irrigação Sulco	0,001	72,12	78,18
Novas Solicitações				
5	Irrigação Localizada	0,001	72,12	78,12
6	Irrigação Sulco	0,002	72,12	78,12

Para o Cenário C1-A, o resultado da simulação demonstra que a outorga para o abastecimento humano apresenta garantia de 98,94%. A garantia de atendimento às demais demandas foi em torno 72%, conforme se observa na Tabela 6.18, ficando as garantias abaixo do mínimo de 90% estabelecido pelo Decreto Estadual nº 19.260/97. As novas solicitações para a irrigação localizada e por sulco também ficariam com garantia abaixo de 90%.

Para o Cenário C1-B, obtiveram-se melhorias em relação à garantia de atendimento às outorgas, devido à contribuição dos vertimentos dos reservatórios em estudo, localizados a montante do reservatório Epitácio Pessoa. Para o pedido 1, o aumento foi de apenas 0,62%, já para os pedidos de 2 a 6, a garantia de atendimento apresentou um aumento aproximado de 8,40%, exceção para o pedido 3, para o qual o aumento foi de 8,85%. Contudo, mesmo com o acréscimo dos vertimentos, ocorreram falhas no atendimento aos pedidos de outorgas.

Em relação ao Cenário C1-A, as figuras seguintes apresentam as falhas de atendimento às novas solicitações de outorga para a o abastecimento humano e para as irrigações e os volumes acumulados no reservatório Epitácio Pessoa, no final do período da simulação. Para o abastecimento humano a falha ocorre a partir do mês 250 e volta a ocorrer no mês 300 (Figura 6.22a), e para as demais outorgas ocorrem em torno do segundo ano da simulação até o vigésimo quinto (Figura 6.22b a Figura 6.22f).

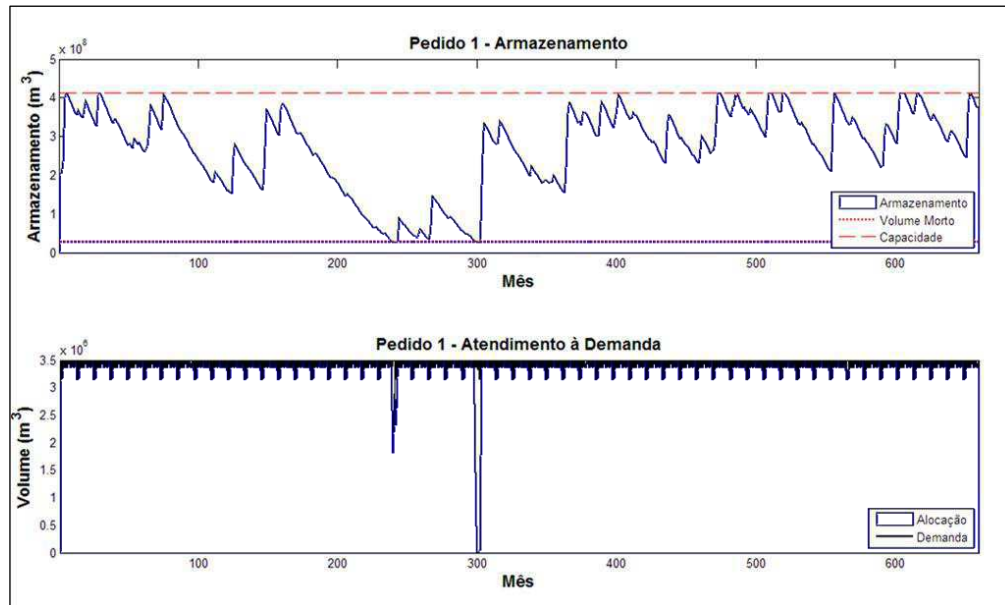


Figura 6.22a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C1-A.

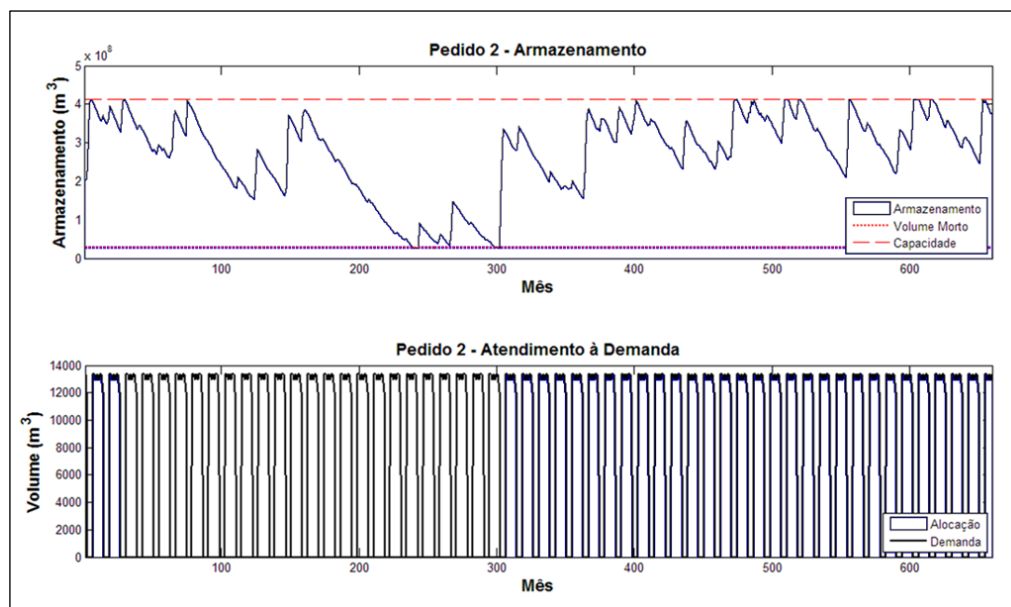


Figura 6.22b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-A.

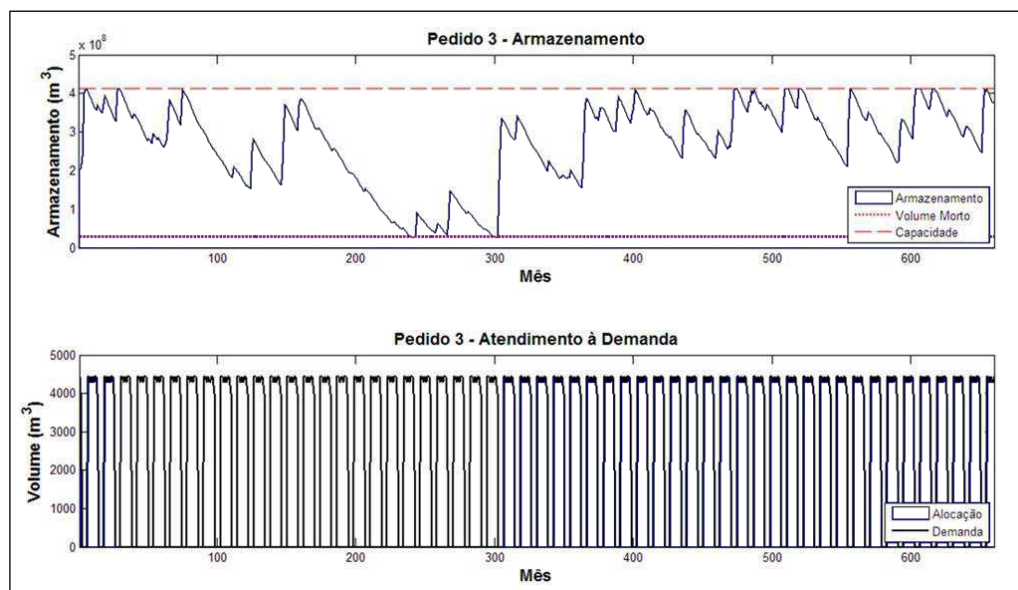


Figura 6.22c- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação por aspersão - Cenário C1-A.

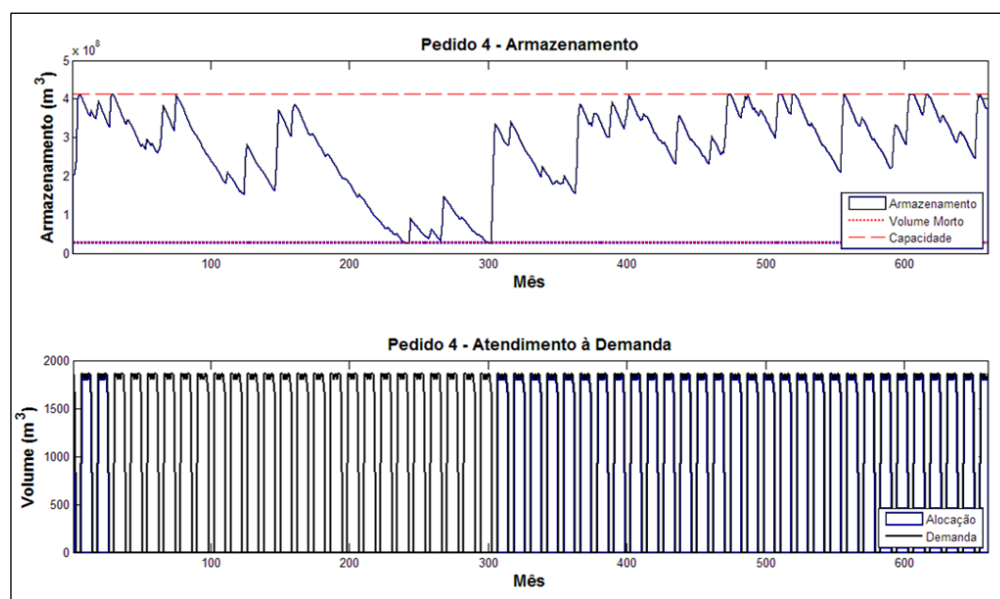


Figura 6.22d- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para irrigação por sulco - Cenário C1-A.

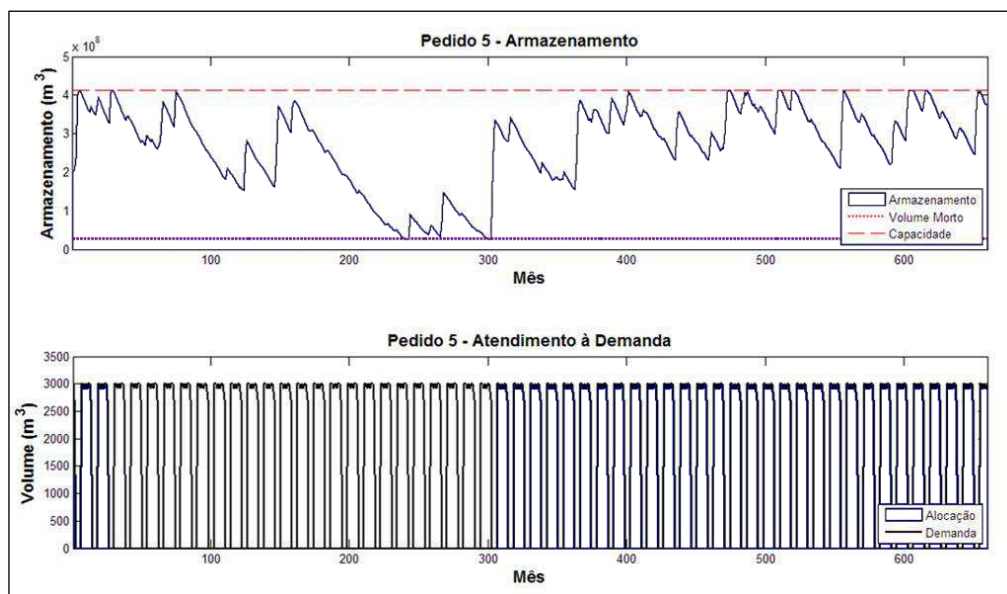


Figura 6.22e- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-A.

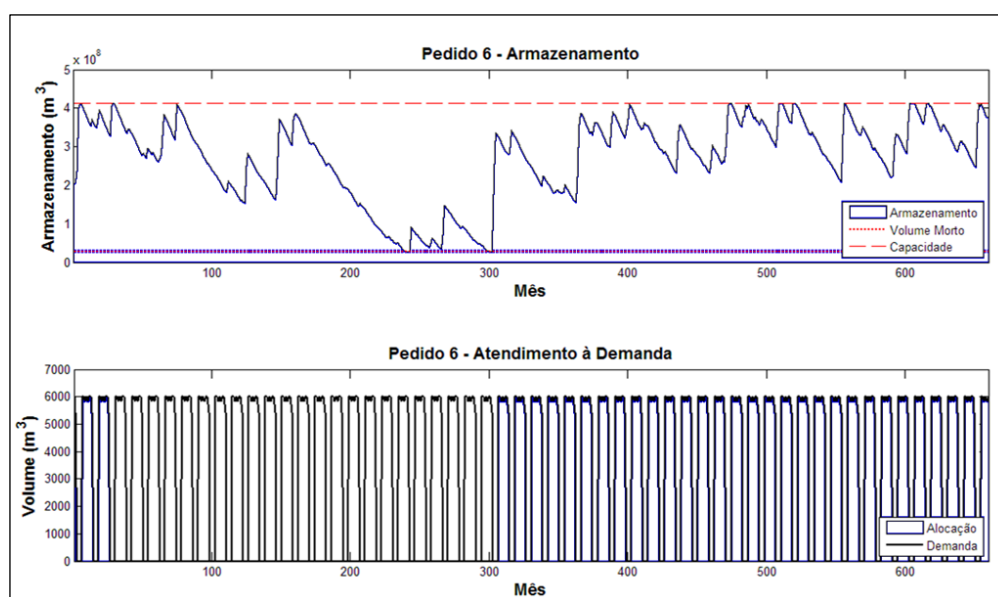


Figura 6.22f- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C1-A.

Para o Cenário C1-B, as Figuras que seguem representam a melhoria das garantias para a concessão de outorgas quando considerado os vertimentos dos reservatórios a montante ao Epitácio Pessoa. Para o abastecimento humano a falha ocorre a partir do mês 250 e não volta a ocorrer no mês 300 quando simulado sem os vertimentos (Figura 6.23a), e para as demais outorgas ocorrem em torno do segundo ano da simulação até o vigésimo aproximadamente

(Figura 6.23b a Figura 6.23f). Ou seja, caso as falhas para a irrigação ocorressem após o mês 250, a simulação para o abastecimento humano não teria o mesmo resultado, o qual foi não apresentar falhas até o vigésimo ano devido à priorização no atendimento.

Apesar do incremento dos vertimentos dos outros reservatórios, a exceção do abastecimento humano, os demais usos não obtiveram garantias satisfatórias por estarem abaixo do aceitável pelo Decreto Estadual que é de 90%.

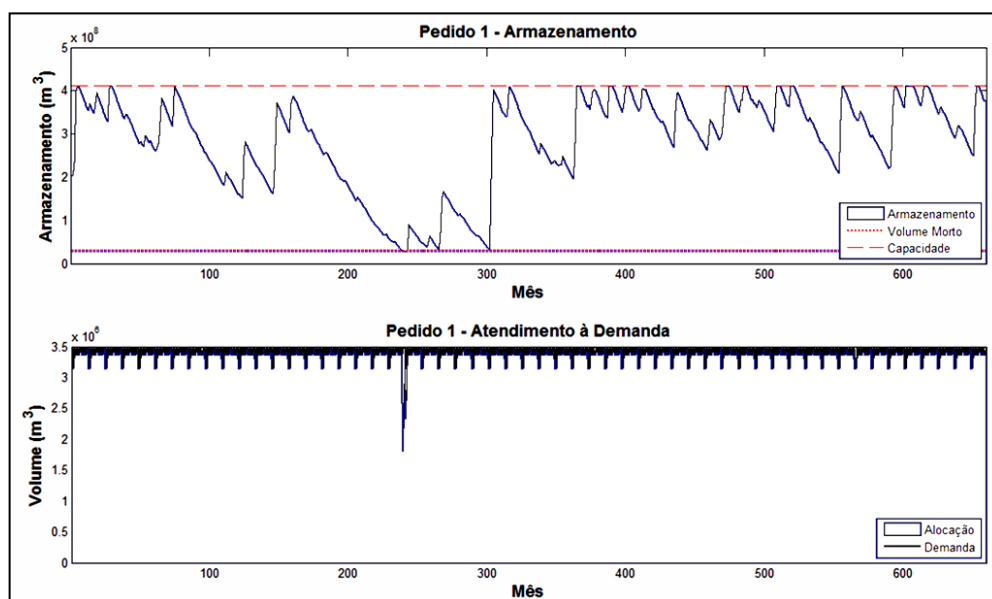


Figura 6.23a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C1-B.

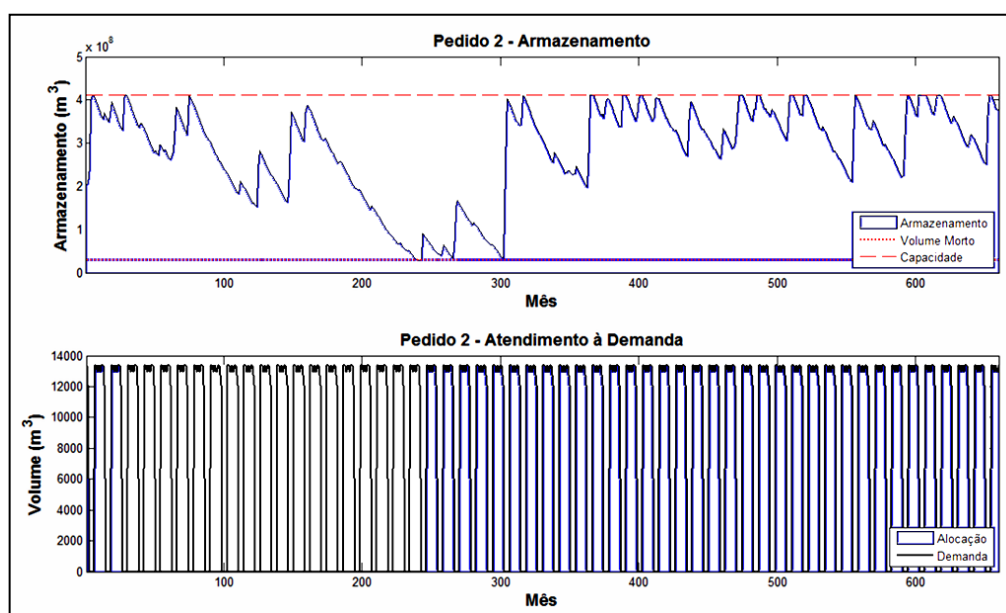


Figura 6.23b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-B.

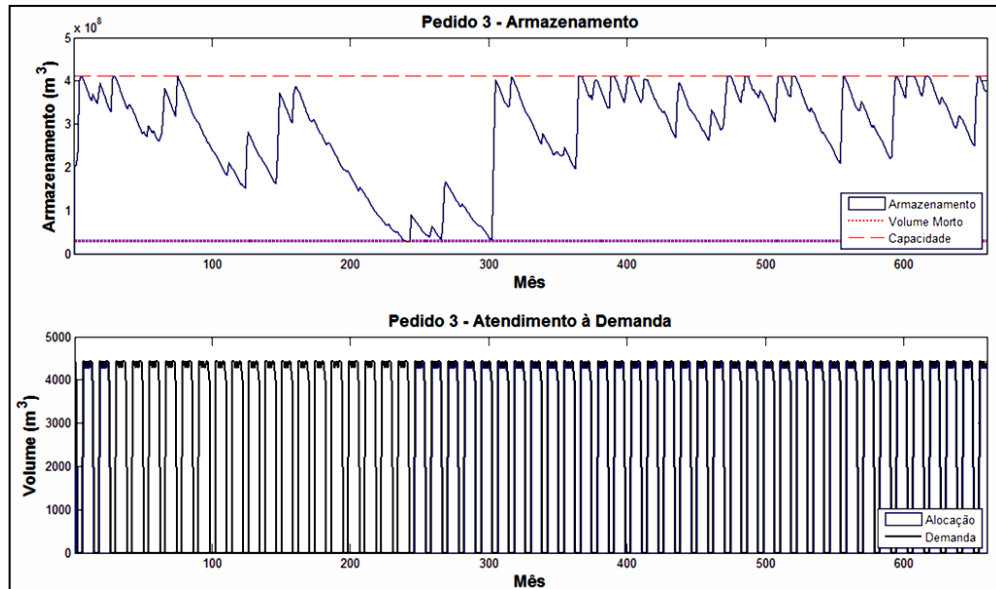


Figura 6.23c- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-B.

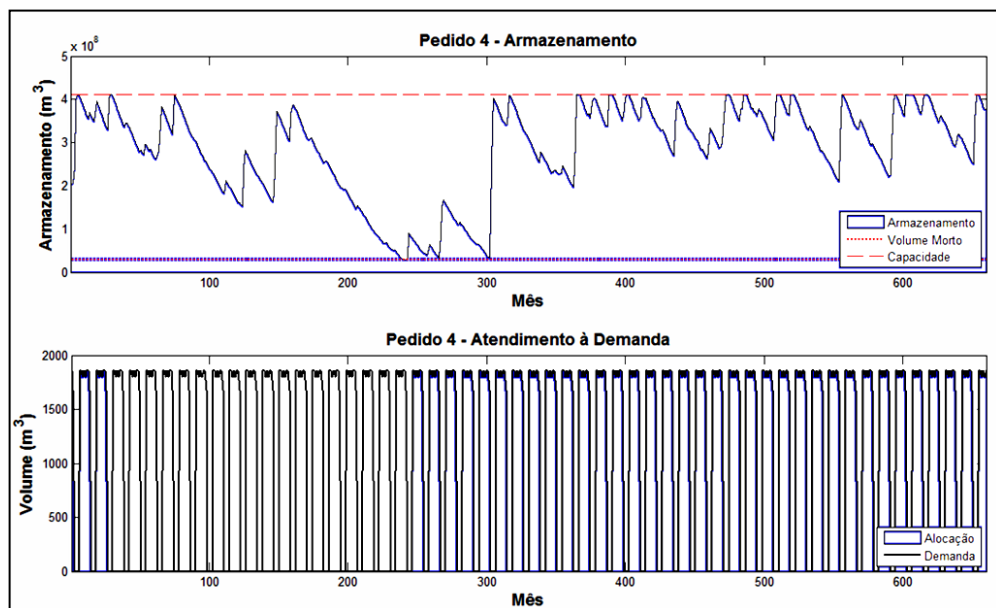


Figura 6.23d- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às outorgas para irrigação por sulco - Cenário C1-B.

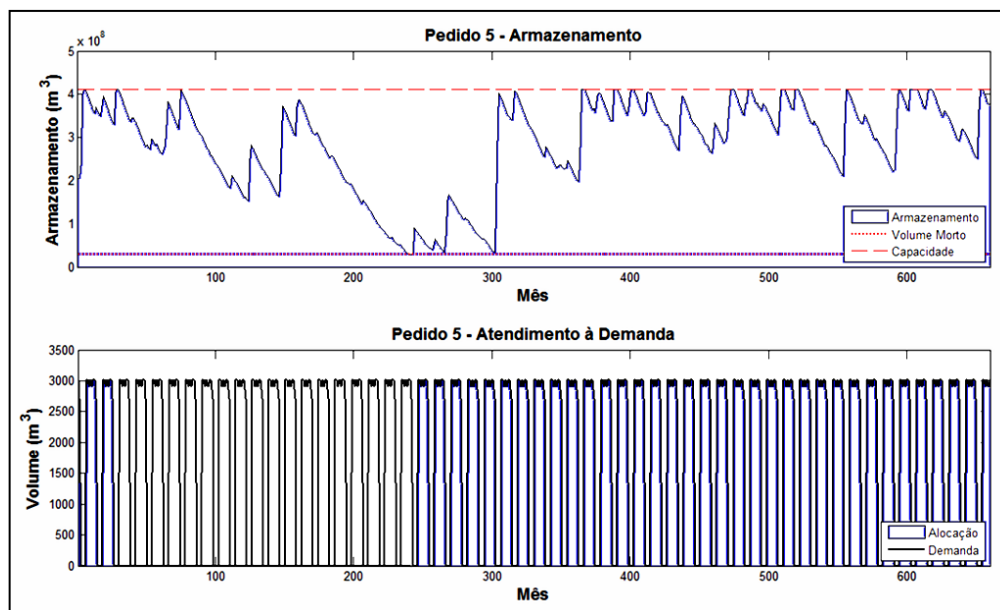


Figura 6.23e- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação localizada - Cenário C1-B.

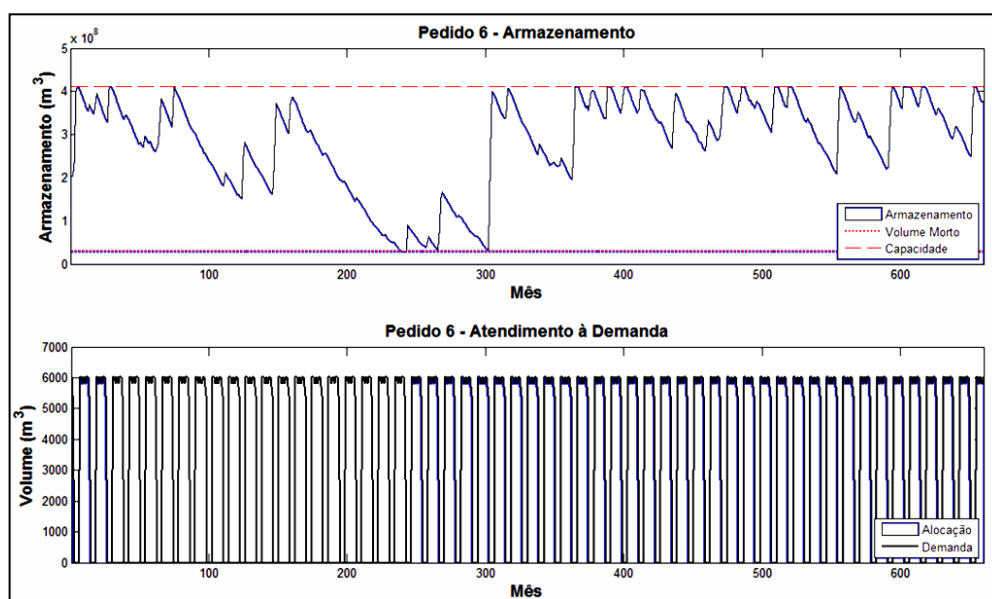


Figura 6.23f- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e falhas no atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C1-B.

Análise do Cenário C2-A

Diferente do Cenário C1-A e C1-B, com o incremento da vazão do PISF, no Cenário C2-A todas as outorgas solicitadas para os diferentes usos apresentados na Tabela 6.19, foram atendidas com garantia de 100%. Estes resultados também podem ser observados nas Figuras

6.24a a 6.24f. A vazão de contribuição do PISF foi de $3,61\text{m}^3/\text{s}$, considerando as perdas no leito do rio Paraíba entre os reservatórios Poções e Epitácio Pessoa, após a operação dos reservatórios Poções e Camalaú para a liberação da vazão.

Tabela 6.19 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-A – Epitácio Pessoa.

Cenário C2-A – Epitácio Pessoa			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3/s)	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	1,301	100,00
2	Irrigação Localizada	0,005	100,00
3	Irrigação Aspersão	0,002	100,00
4	Irrigação Sulco	0,001	100,00
Novas Solicitações			
5	Irrigação Localizada	0,001	100,00
6	Irrigação Sulco	0,002	100,00

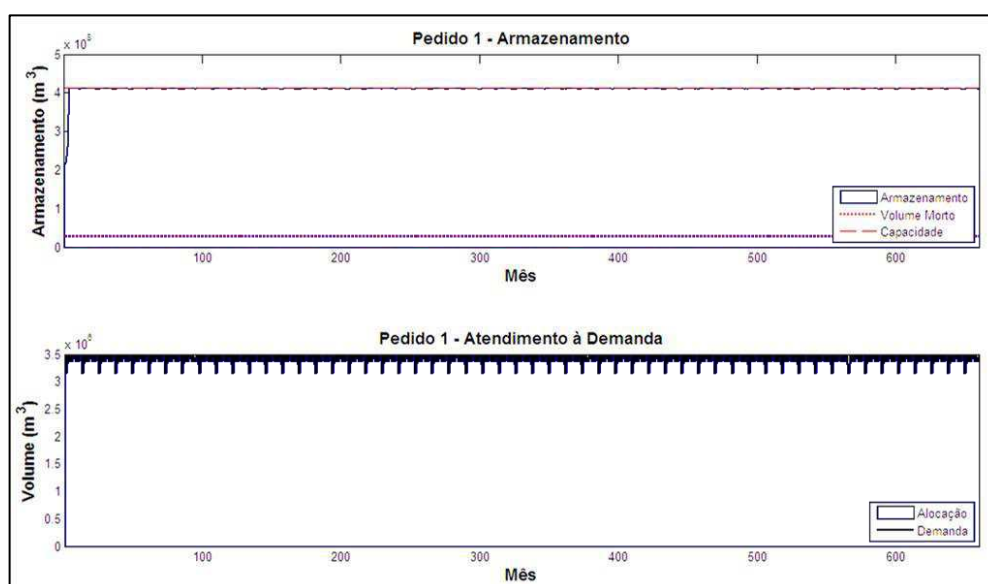


Figura 6.24a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C2-A.

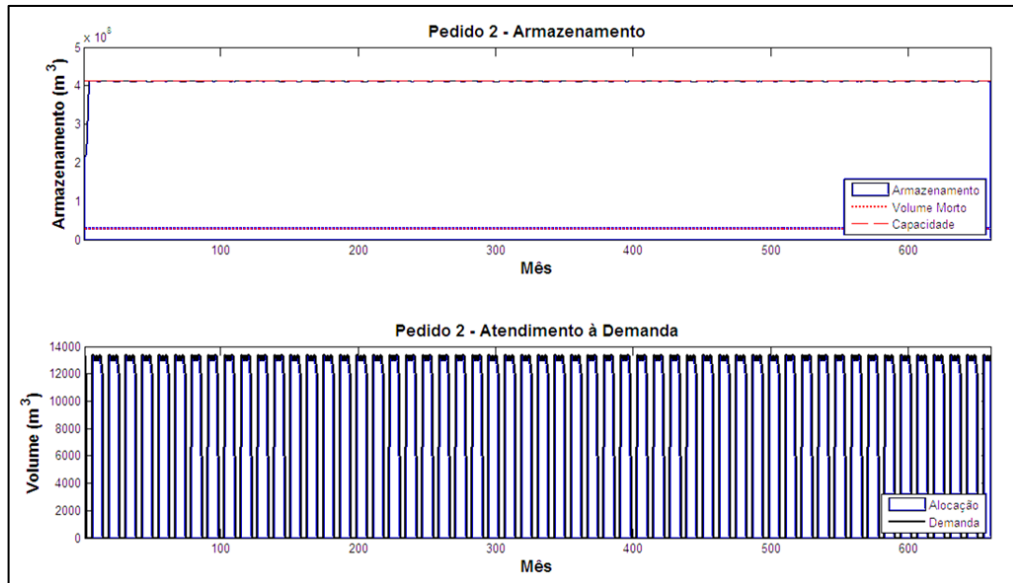


Figura 6.24b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para a irrigação localizada - Cenário C2-A.

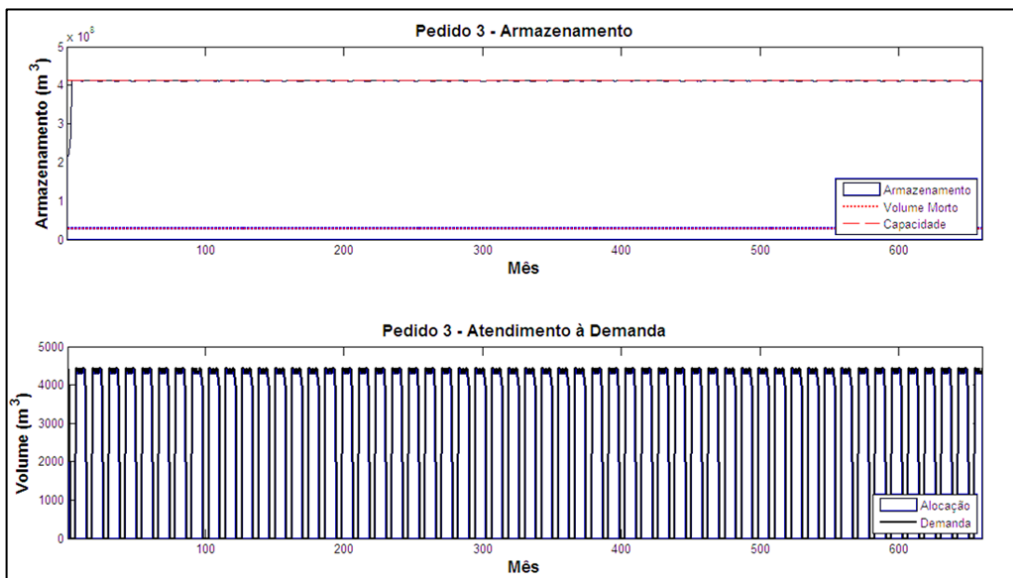


Figura 6.24c- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para a irrigação por aspersão - Cenário C2-A.

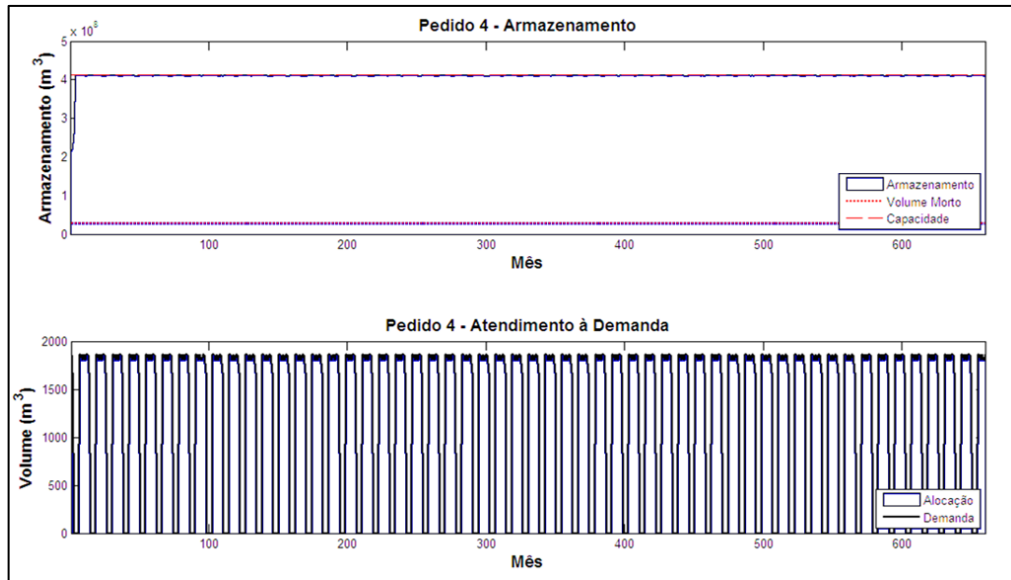


Figura 6.24d- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para irrigação por sulco - Cenário C2-A.

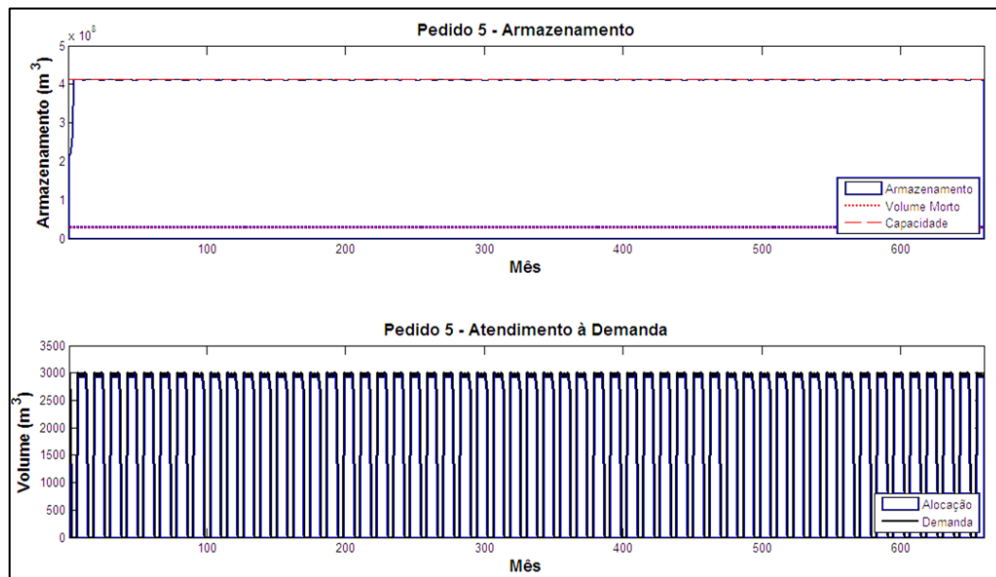


Figura 6.24e- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às novas outorgas para a irrigação localizada - Cenário C2-A.

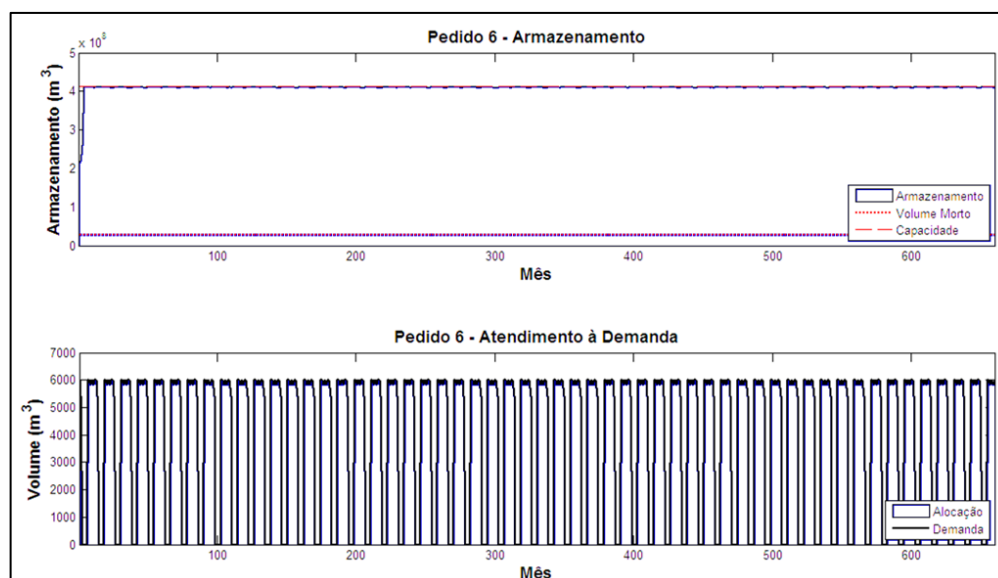


Figura 6.24f- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C2-A.

Com a contribuição da vazão do PISF, o reservatório Epitácio Pessoa atenderia as demandas previstas neste estudo devido ao aumento na disponibilidade hídrica. Observa-se pelas figuras que o reservatório se mantém em sua cota máxima de armazenamento, logo após os primeiros anos da simulação. Isso possibilita ainda o incremento de novas outorgas para o reservatório. Contudo, deve-se considerar todo o sistema da bacia, avaliando os reservatórios com déficit ou superávit hídrico para promover uma operação adequada entre eles de modo a garantir as prioridades de atendimento previstas para os reservatórios da bacia.

Um bom gerenciamento de uma bacia hidrográfica deve atender para prioridades de atendimento de usos, associada as garantias com base nos déficits e superávits hídricos do sistema e ao pagamento pelo uso da água de modo a promover o uso racional da mesma e arrecadar recursos para subsidiar ações voltadas para sustentabilidade da bacia.

Análise do Cenário C2-B

Neste cenário foi considerado que uma parte da vazão do PISF seria transportada do reservatório Poções ao reservatório Epitácio Pessoa por meio de adutora, minimizando perdas por infiltração, evaporação e possíveis usos clandestinos ao longo da margem do rio. Neste caso a vazão transposta seria de 1,12 m³/s e o restante viria pelo leito do rio Paraíba, a partir da operação dos reservatórios Poções e Camalaú, com descontos das perdas por evaporação e infiltração.

No Cenário C2-B todas as outorgas solicitadas para os diferentes usos apresentados na Tabela 6.20, foram atendidas com garantia de 100%. Estes resultados também podem ser observados na Figura 6.25a do Pedido 1, correspondente a prioridade 1 e na Figura 6.25b do Pedido 6, correspondente ao de menor prioridade. Todos os gráficos resultantes da simulação neste cenário se assemelharam aos do cenário anterior.

Ressalva-se que na alternativa do Cenário C2-B, uma parte da vazão do PISF transportada por adutora não implicou em ganho significativo para a disponibilidade hídrica do reservatório em relação ao Cenário C2-A, pois a vazão ao chegar ao reservatório, dependendo do modo de operação, será em parte evaporada ou vertida. Neste sentido, ao invés de ser conduzida ao açude, outra alternativa seria reforçar diretamente uma adutora já existente.

Tabela 6.20 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-B – Epitácio Pessoa.

Cenário C2-B – Epitácio Pessoa			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m ³ /s)	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	1,301	100,00
2	Irrigação Localizada	0,005	100,00
3	Irrigação Aspersão	0,002	100,00
4	Irrigação Sulco	0,001	100,00
Novas Solicitações			
5	Irrigação Localizada	0,001	100,00
6	Irrigação Sulco	0,002	100,00

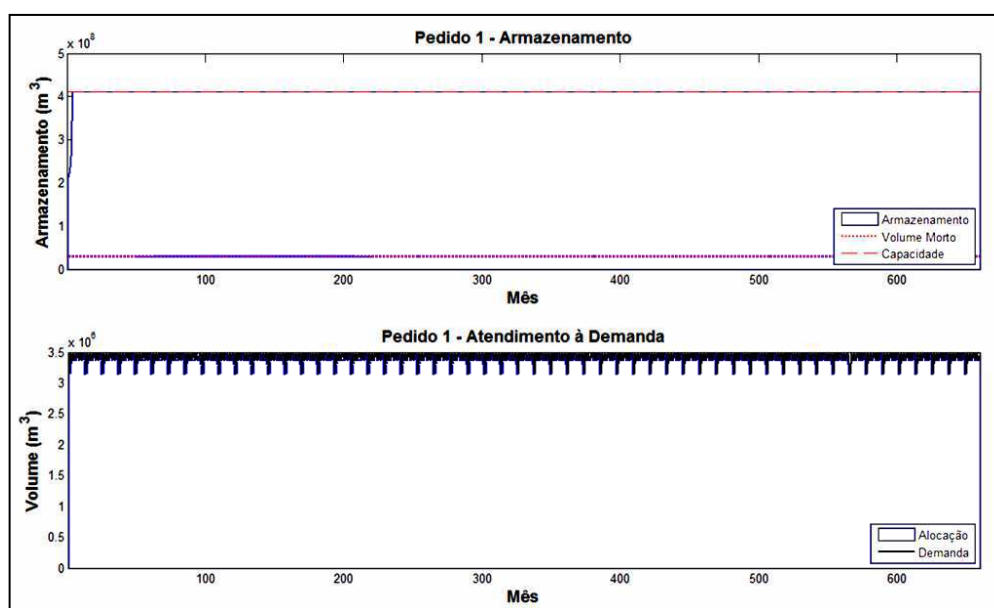


Figura 6.25a- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às outorgas para o abastecimento humano - Cenário C2-B.

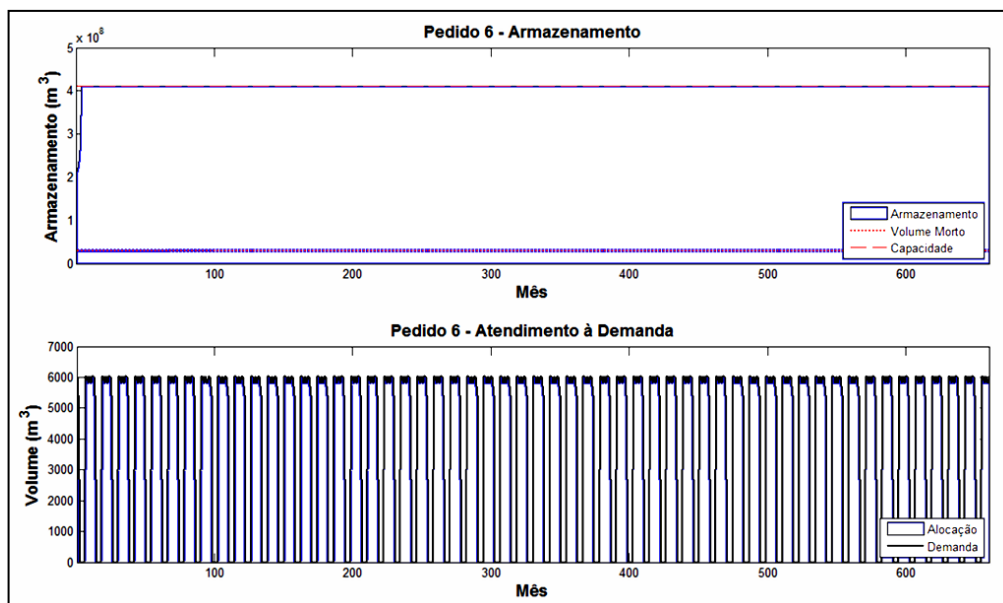


Figura 6.25b- Volumes armazenados no reservatório Epitácio Pessoa e atendimento às novas outorgas para a irrigação por sulco - Cenário C2-B.

6.2.5 Reservatório Acauã

Para os cenários C1-A, C1-B e C2-A e C2-B, as prioridades de atendimento às outorgas para o reservatório Acauã são as seguintes:

1-abastecimento humano; 2-indústria; 3-aquicultura; 4-irrigação por aspersão; 5-irrigação por sulco; 6-novas solicitações para aquicultura; 7-novas solicitações para irrigação.

Os valores das outorgas concedidas e em fase de solicitação (andamento) para o reservatório Acauã estão apresentados na Tabela 6.21, por tipo de solicitação e ordem de prioridade de atendimento.

Tabela 6.21 - Pedidos de Outorga por ordem de prioridade (m³/s) – Açude Acauã

N ^o	Tipo de Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	abast	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
2	abast	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106
3	abast	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
4	indust	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
5	aquic	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113
6	aquic	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
7	aquic	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
8	aquic	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
9	aquic	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
10	aquic	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
11	aquic	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
12	aquic	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
13	aquic	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
14	irrig asper	0,298	0,298	0,000	0,000	0,000	0,000	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298
15	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
16	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
17	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
18	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
19	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
20	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
21	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
22	irrig asper	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
23	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
24	irrig asper	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
25	irrig asper	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
26	irrig sulco	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
27	aquic and	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
28	aquic and	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
29	aquic and	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185
30	aquic and	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
31	aquic and	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
32	aquic and	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
33	aquic and	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
34	aquic and	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
35	aquic and	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
36	aquic and	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
37	aquic and	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
38	aquic and	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
39	aquic and	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
40	aquic and	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
41	aquic and	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
42	aquic and	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
43	aquic and	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
44	aquic and	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119
45	aquic and	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
46	aquic and	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
47	aquic and	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
48	irrig asper and	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
49	irrig asper and	0,002	0,002	0	0	0	0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

Análise dos Canários C1-A e C1-B

Nestes cenários, as prioridades de atendimento após o abastecimento humano são, respectivamente, indústria, aquicultura, irrigação por aspersão e irrigação por sulco. Em seguida, priorizaram-se as novas solicitações para a aquicultura e a irrigação. Neste estudo, a aquicultura refere-se à piscicultura em tanques escavados, sendo uma atividade econômica de uso consuntivo. As demandas foram totalizadas por tipo de uso e a demanda para irrigação é destinada a atender o cultivo de culturas sazonais. Os resultados da simulação estão apresentados na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A e C1-B - Acauã.

Prioridade	Cenário C1-A - Acauã		Cenário C1-A s/ vertimento	Cenário C1-B c/ vertimento
	Tipo de Uso	Demanda (m ³ s ⁻¹)	Garantia (%)	Garantia (%)
Usos Outorgados				
1	Abastecimento Humano	0,136	100,00	100
2	Indústria	0,001	100,00	100
3	Aquicultura	0,436	100,00	100
4	Irrigação Aspersão	0,561	97,00	100
5	Irrigação Sulco	0,022	100,00	100
Novas Solicitações				
6	Aquicultura	0,806	91,36	91,52
7	Irrigação Aspersão	0,003	84,70	84,85

No Cenário C1-A, a garantia de atendimento à demanda que ficou abaixo do mínimo estabelecido pelo Decreto Estadual nº 19.260/97, que regulamenta a outorga no Estado da Paraíba (90% de garantia), foi a referente a nova solicitação de outorga para a irrigação, com valor de 84,70%. A demanda já outorgada para irrigação seria atendida com 100% de garantia. As novas solicitações para a aquicultura seriam atendidas com 91,36% de garantia de atendimento. Isso demonstra que, na simulação, quando o sistema é condicionado a atender as demandas pelas prioridades, um novo pedido só é atendido após o atendimento às outorgas com maior prioridade ou já outorgadas. A garantia de atendimento menor para o pedido 4 (97%) em relação ao pedido 5 (100%) deve-se ao fato do excedente de água nos meses em que não existe demanda para o pedido 4, ser o suficiente para atender a pequena demanda do pedido 5, após atender as prioridades ao longo de todo o período da simulação. Esta é uma das vantagens do modelo de outorga utilizado nesta pesquisa por considerar a variabilidade inter e intra-anual das disponibilidades hídricas. O que não ocorre quando se outorgar com base em um valor único de referência anual, como a vazão regularizada.

Outra vantagem do modelo é que para situações de escassez hídrica, a importância de se fazer simulações com base em prioridade de atendimento, a qual poderá ser definida por tomadores de decisão, está em fornecer subsídios aos órgãos gestores quanto à avaliação de cenários de concessão de novas outorgas associada a uma garantia de atendimento.

Em relação ao Cenário C1-B, o acréscimo dos vertimentos do reservatório a montante ao reservatório Acauã não implicou em grandes melhorias na garantia de atendimento às outorgas solicitadas e em andamento. Para os pedidos de 1 ao 5, conforme esperado, a garantia ficou em 100%. Para os pedidos 4, 6 e 7, os acréscimos da garantia foram de 3,10%; 0,17% e 0,18%, respectivamente.

As Figuras 6.26a e 6.26b, referentes aos resultados do Cenário C1-A, apresentam as falhas de atendimento às novas solicitações de outorga para a aquicultura e a irrigação e os

volumes acumulados no reservatório Acauã, no final do período da simulação. Os volumes existentes nos períodos de falha de atendimento são reservas para garantir as demandas prioritizadas na simulação. Através das Figuras 6.26c e 6.26d referentes aos pedidos 6 e 7 de outorga do Cenário C1-B, observa-se que o reservatório apresentou comportamento semelhante em termos de falhas de atendimento e armazenamento de água ao longo do período simulado em relação ao cenário anterior, sem vertimentos.

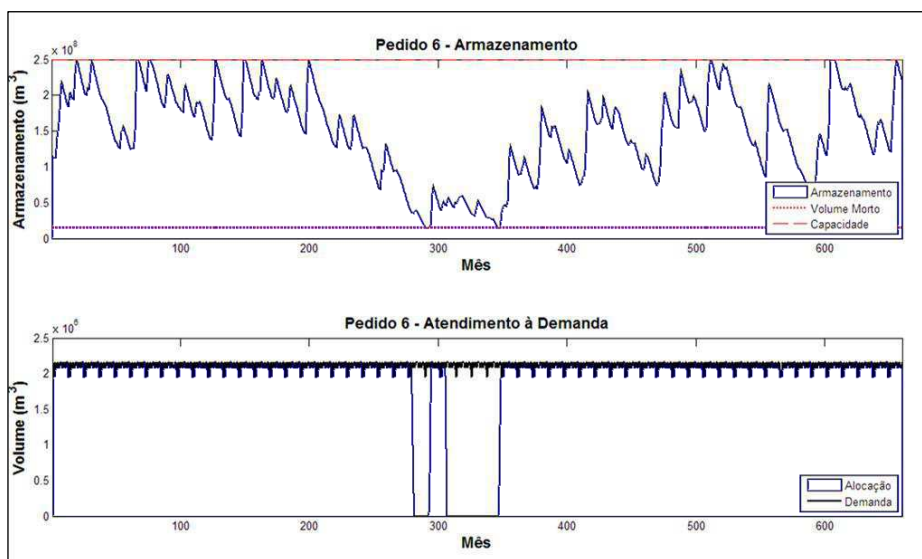


Figura 6.26a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para Aquicultura - Cenário C1-A.

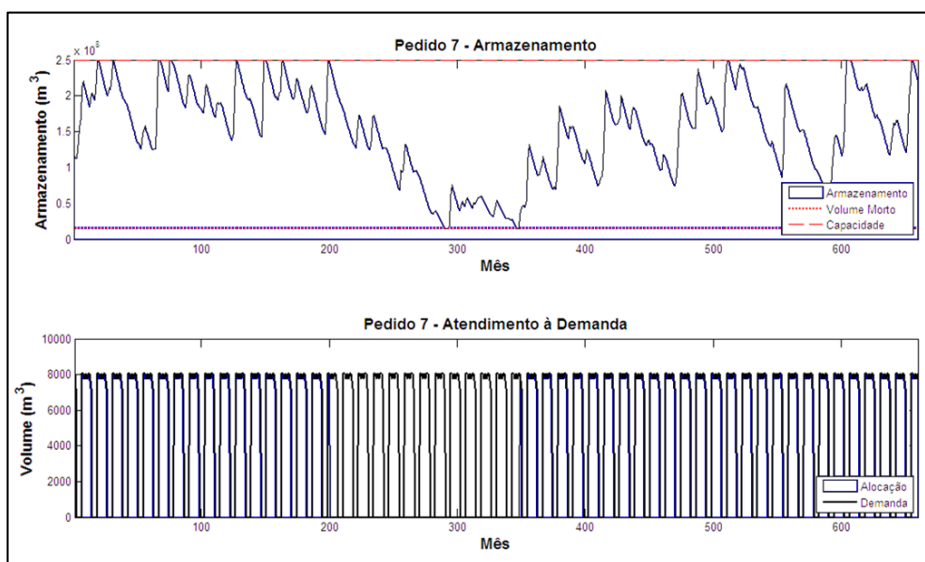


Figura 6.26b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C1-A.

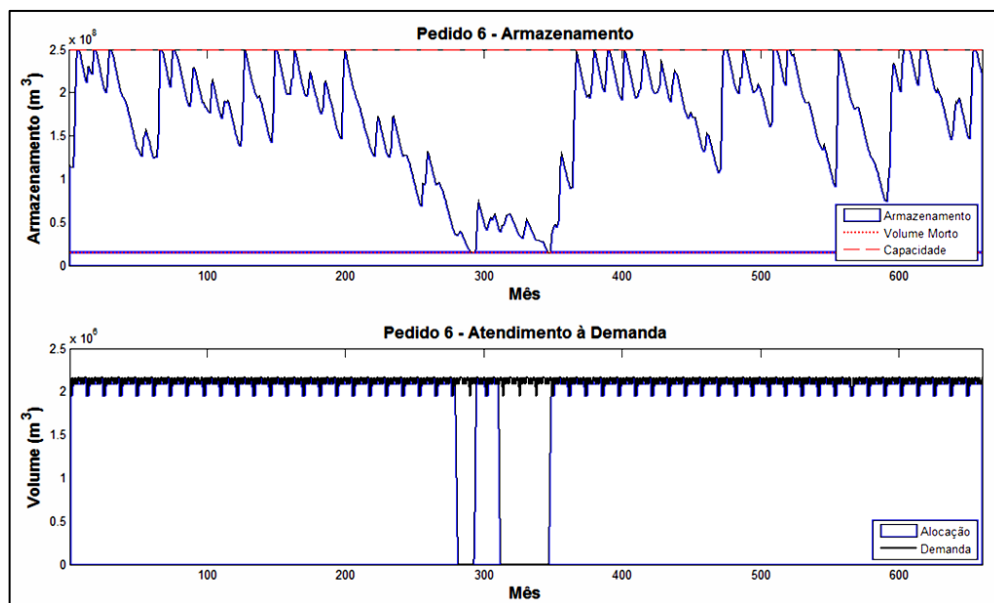


Figura 6.26c- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para Aquicultura - Cenário C1-B.

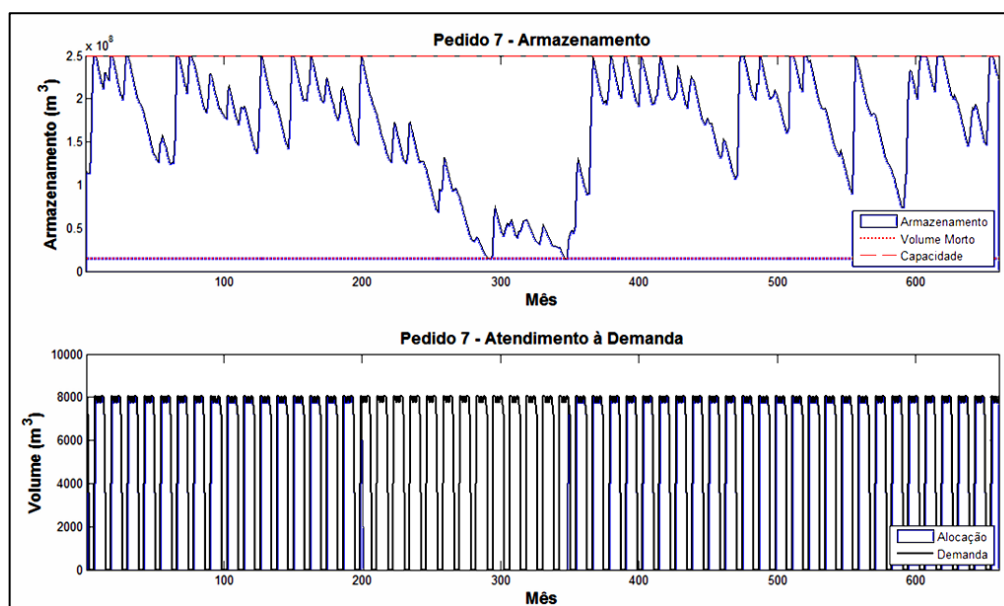


Figura 6.26d- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C1-B.

Inversão de prioridades

Outra análise foi realizada invertendo a ordem das novas solicitações de outorga para o reservatório Acauã, passando o pedido 6 para irrigação por aspersão e o pedido 7 para a aquicultura, com a finalidade de se avaliar a resposta do modelo em relação a garantia de atendimento a essas demandas quando invertido a ordem de prioridades.

A Tabela 6.23 e as Figuras 6.27a e 6.27b apresentam os resultados da análise realizada. Observa-se que do Pedido 1 ao Pedido 5, não houve diferença na garantia de atendimento em relação ao cenário anterior. Entretanto, para as novas outorgas solicitadas, que tiveram a ordem de prioridade alterada, observou-se que a irrigação por aspersão quando passou a ser o Pedido 6 obteve garantia de atendimento em 100% (sem falhas) e anteriormente foi de 84,7%. A aquicultura que passou a ser o Pedido 7 obteve garantia de atendimento em 91,52%. A demanda para a irrigação por aspersão, mesmo sendo muito baixa ($0,003\text{m}^3/\text{s}$), só foi atendida com garantia de 100% quando priorizada em relação a aquicultura, pois na situação anterior, após atendida a aquicultura, o excedente não permitiu atender a irrigação na totalidade do período da simulação. Isso demonstra a coerência do modelo de outorga em priorizar atendimentos de outorga.

Tabela 6.23 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1-A- Acauã – Prioridades Invertidas.

Cenário C1-A Prioridade Invertida – Acauã			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	0,136	100,00
2	Indústria	0,001	100,00
3	Aquicultura	0,436	100,00
4	Irrigação Aspersão	0,561	97,00
5	Irrigação Sulco	0,022	100,00
Novas Solicitações – Prioridade Invertida			
6	Irrigação Aspersão	0,003	100,00
7	Aquicultura	0,806	91,52

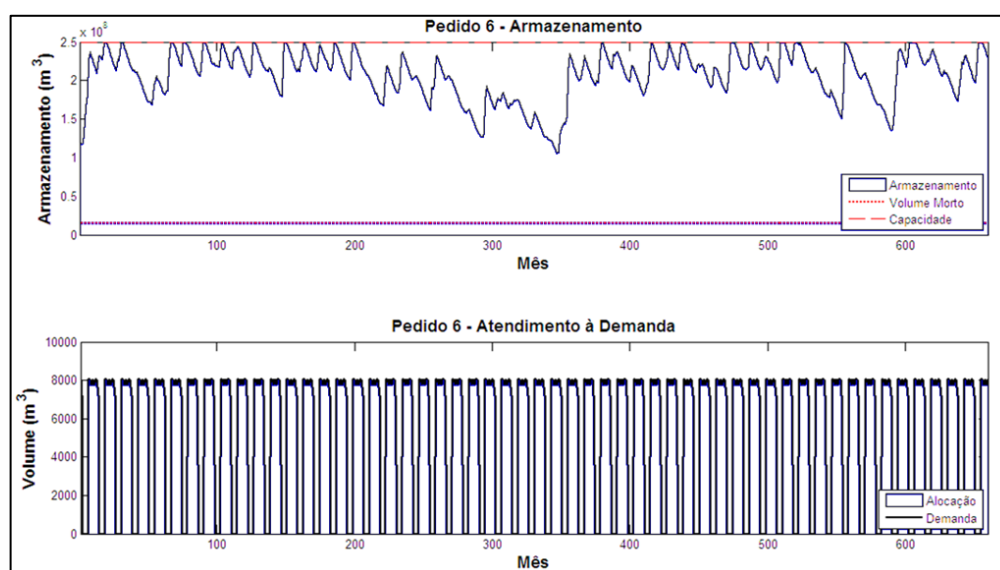


Figura 6.27a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C1-A – invertido.

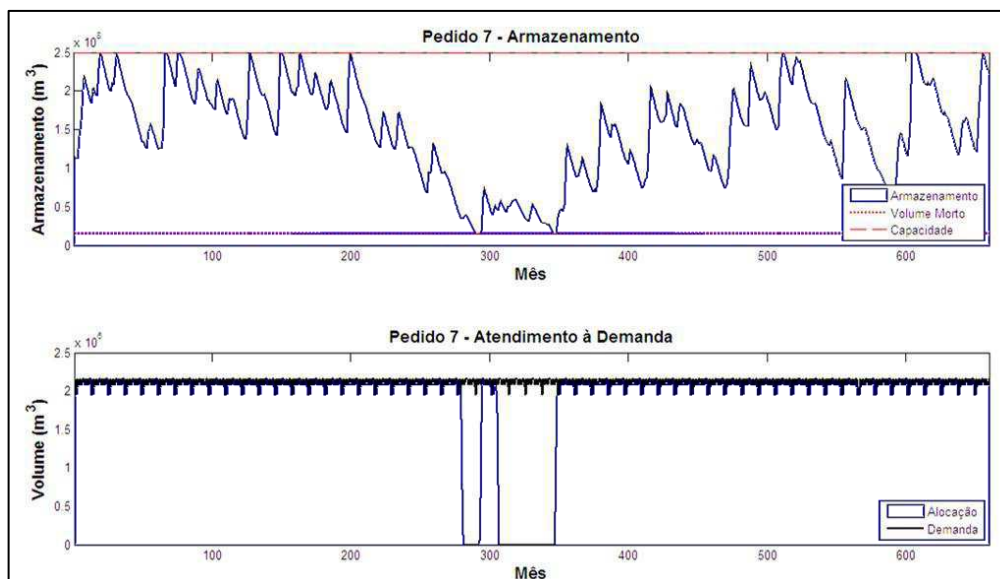


Figura 6.27b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e falhas no atendimento às novas outorgas para aquicultura - Cenário C1-A – Invertido.

Análise do Cenário C2-A

No Cenário C2-A foi considerado a vazão exógena contínua do PISF, a partir dos vertimentos do reservatório Epitácio Pessoa. As perdas no leito do rio Paraíba, no trecho entre os dois reservatórios, estão estimadas em 22%.

Com a contribuição do PISF, todas as outorgas foram atendidas com garantia de 100%. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.24 e nas Figuras 6.28a e 6.28g. Após os primeiros meses da simulação, o reservatório Acauã atinge a capacidade máxima de armazenamento e permanece com esse comportamento até o final do período da simulação para o pedido 1. A partir do Pedido 6 os volumes finais do reservatório, em alguns meses, ficaram um pouco mais abaixo da capacidade máxima, contudo ainda demonstrando um excedente hídrico que permite o acréscimo de novas outorgas, para as condições simuladas.

Tabela 6.24 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-A - Acauã.

Cenário C2-A - Acauã			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	0,136	100,00
2	Indústria	0,001	100,00
3	Aquicultura	0,436	100,00
4	Irrigação Aspersão	0,561	100,00
5	Irrigação Sulco	0,022	100,00
Novas Solicitações			
6	Aquicultura	0,806	100,00
7	Irrigação Aspersão	0,003	100,00

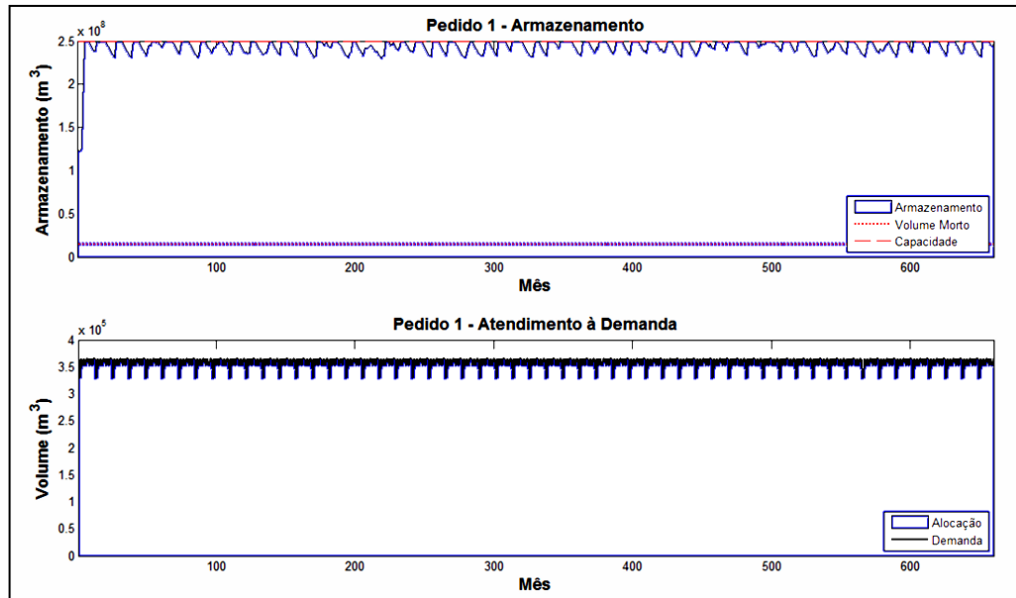


Figura 6.28a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para o abastecimento humano - Cenário C2-A.

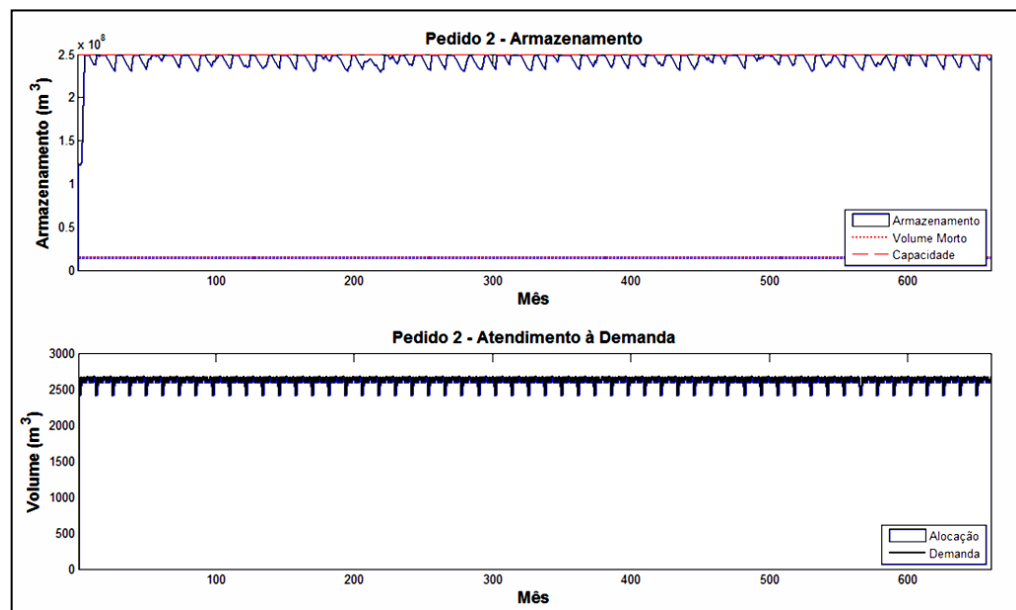


Figura 6.28b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para a indústria - Cenário C2-A.

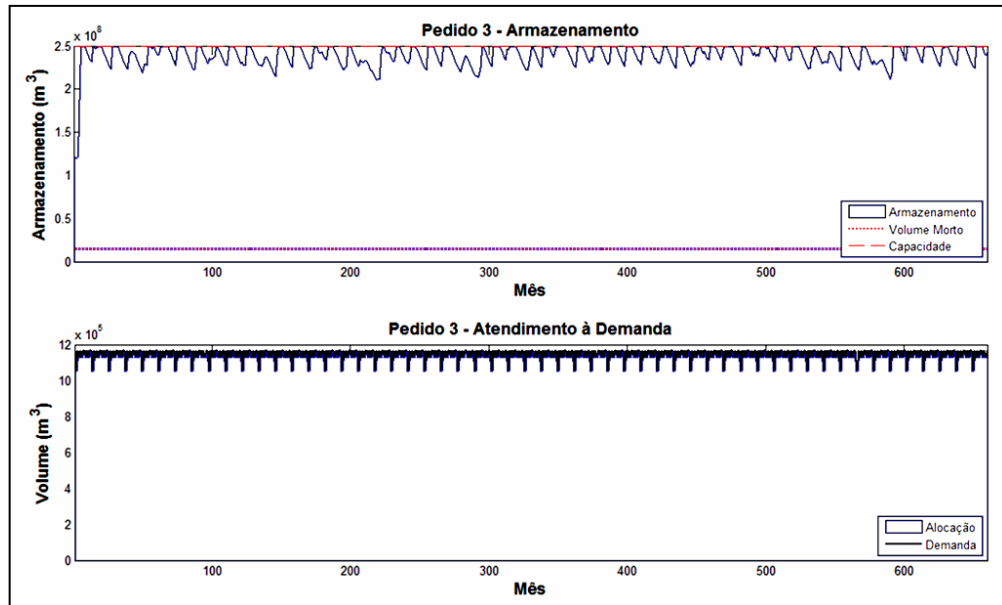


Figura 6.28c- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para Aquicultura - Cenário C2-A.

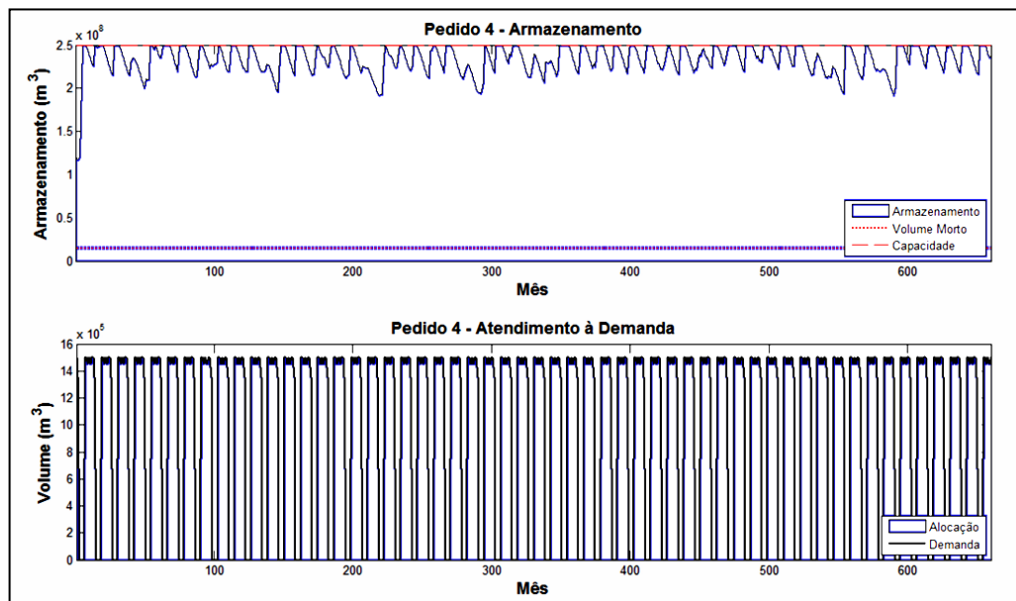


Figura 6.28d- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para a irrigação por aspersão - Cenário C2-A.

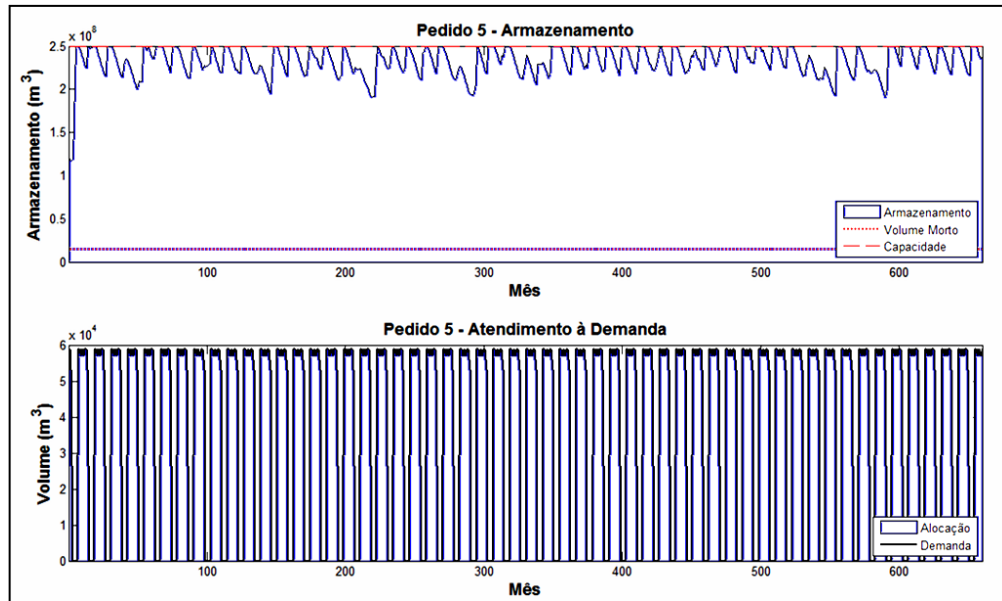


Figura 6.28e- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas para irrigação por sulco - Cenário C2-A.

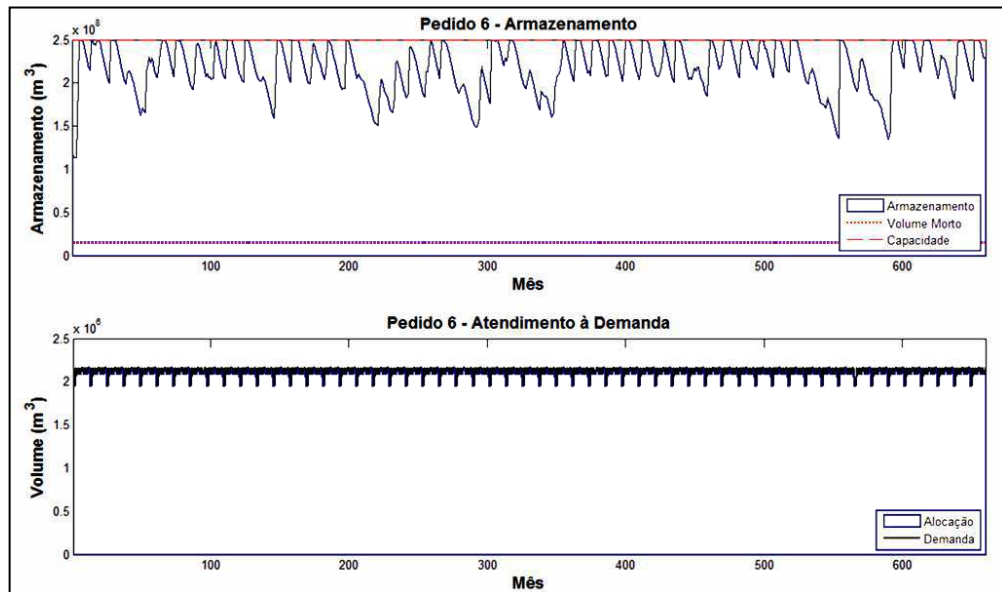


Figura 6.28f- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas as novas outorgas para Aquicultura - Cenário C2-A.

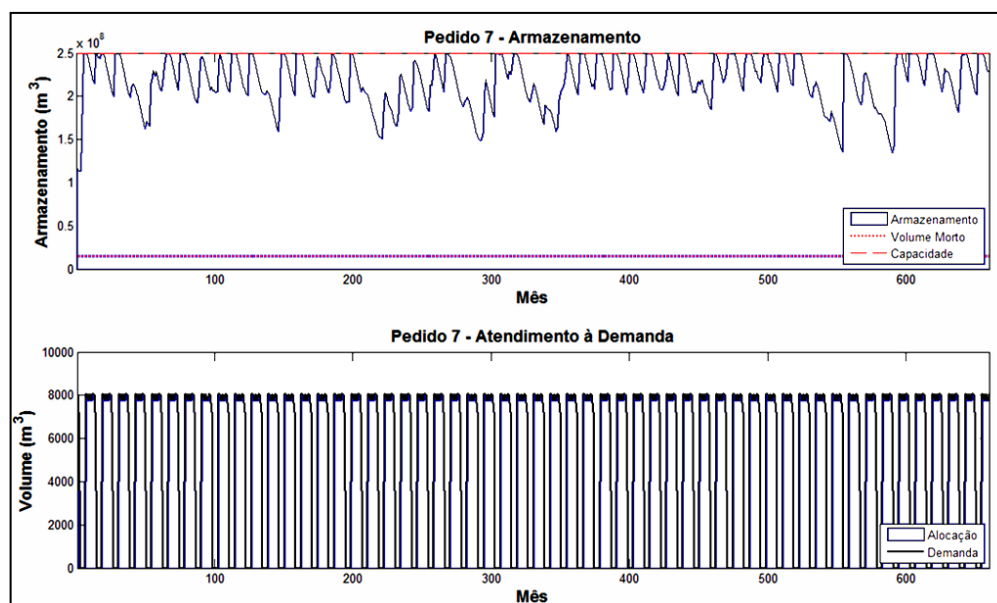


Figura 6.28g- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas as novas outorgas para irrigação - Cenário C2-A.

Análise do Cenário C2-B

No Cenário C2-B foi considerado a vazão exógena contínua do PISF, a partir dos vertimentos do reservatório Epitácio Pessoa quando simulado recebendo $1,2\text{m}^3/\text{s}$ do PISF, diretamente do reservatório Poções, por adutora mais a contribuição pelo leito do rio. As perdas no trecho entre os dois reservatórios também foram consideradas.

Neste cenário também foi otimizado o atendimento à demanda referente ao Canal de Integração que se inicia em Acauã e atenderá a região de Mamanguape. Suas águas serão utilizadas para irrigação e abastecimento humano. Nas simulações a prioridade considerada para esta outorga foi a oitava, e os valores foram variados de $1,0\text{ m}^3/\text{s}$ a $2,5\text{ m}^3/\text{s}$, conforme apresentado na Tabela 6.25.

As outorgas foram atendidas com garantia de 100% entre os pedidos 1 e 7, e o pedido 8 quando adotado a demanda de $1\text{m}^3/\text{s}$. Para as demandas de $1,5\text{m}^3/\text{s}$; $2,0\text{ m}^3/\text{s}$ e $2,5\text{ m}^3/\text{s}$, as garantias foram de 98,18%; 93,18%; e 71,36% (Tabela 6.25). Observa-se que para as demandas acima de $2,0\text{ m}^3/\text{s}$, o canal de integração, o qual está projetado para transportar uma vazão de $10\text{m}^3/\text{s}$, dependerá de uma vazão de contribuição do PISF acima da vazão fixa de $4,0\text{m}^3/\text{s}$, destinada a promover a sinergia de vários reservatórios aqui estudados.

As Figuras 6.29a e 6.29f apresentam o comportamento do reservatório ao longo do período de simulação e as situações em que as outorgas foram atendidas com e sem falha.

Tabela 6.25 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2-B - Acauã.

Cenário C2-B - Acauã			
Prioridade	Tipo de Uso	Demanda (m^3s^{-1})	Garantia (%)
Usos Outorgados			
1	Abastecimento Humano	0,136	100,00
2	Indústria	0,001	100,00
3	Aquicultura	0,436	100,00
4	Irrigação Aspersão	0,561	100,00
5	Irrigação Sulco	0,022	100,00
Novas Solicitações			
6	Aquicultura	0,806	100,00
7	Irrigação Aspersão	0,003	100,00
8	Canal de Integração	1,000	100,00
8	Canal de Integração	1,500	98,18
8	Canal de Integração	2,000	93,18
8	Canal de Integração	2,500	71,36

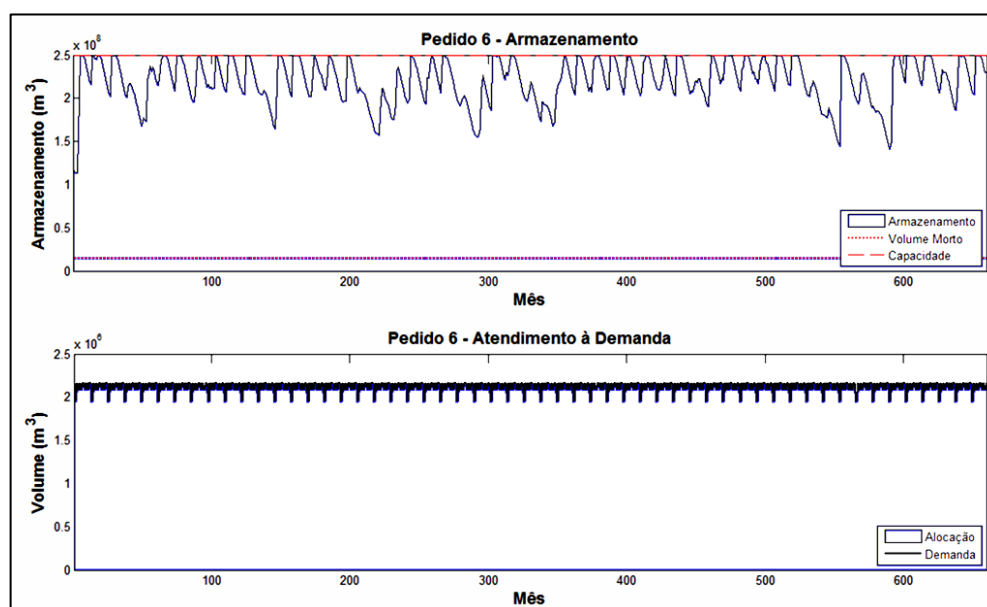


Figura 6.29a- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento às novas outorgas para Aquicultura - Cenário C2-B.

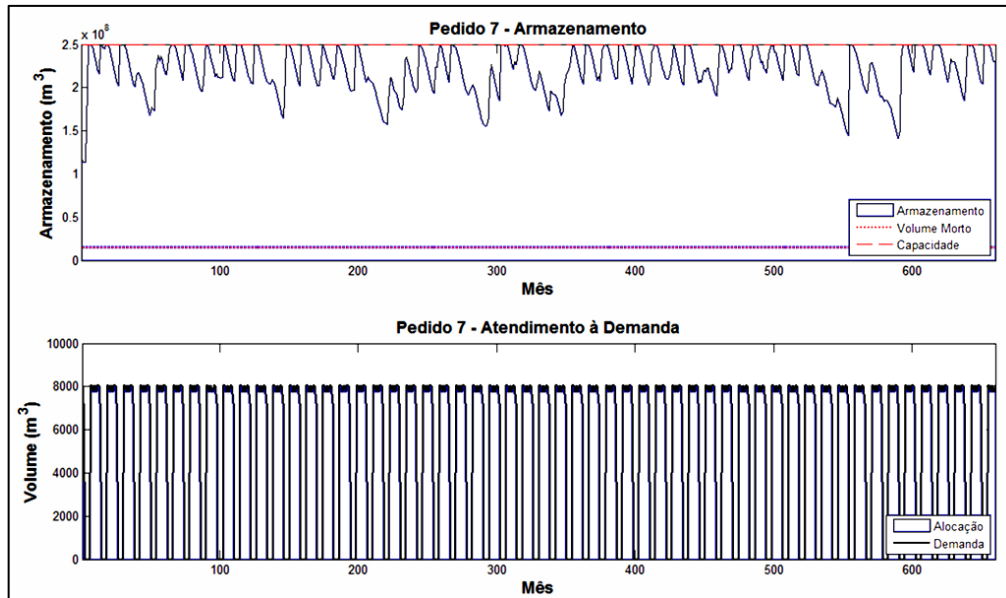


Figura 6.29b- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento às novas outorgas para irrigação - Cenário C2-B.

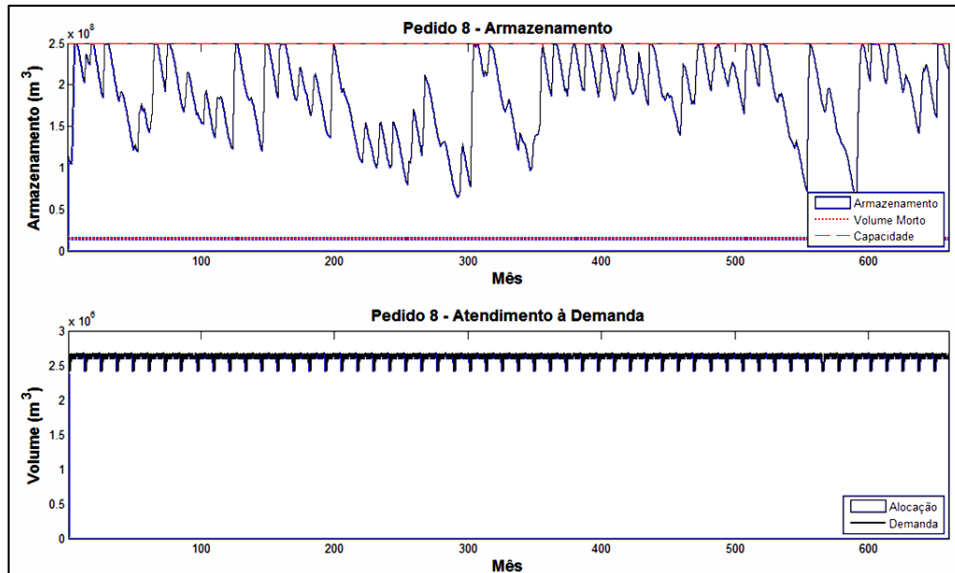


Figura 6.29c- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento sem falhas ao canal da integração ($1,0 \text{ m}^3/\text{s}$) - Cenário C2-B.

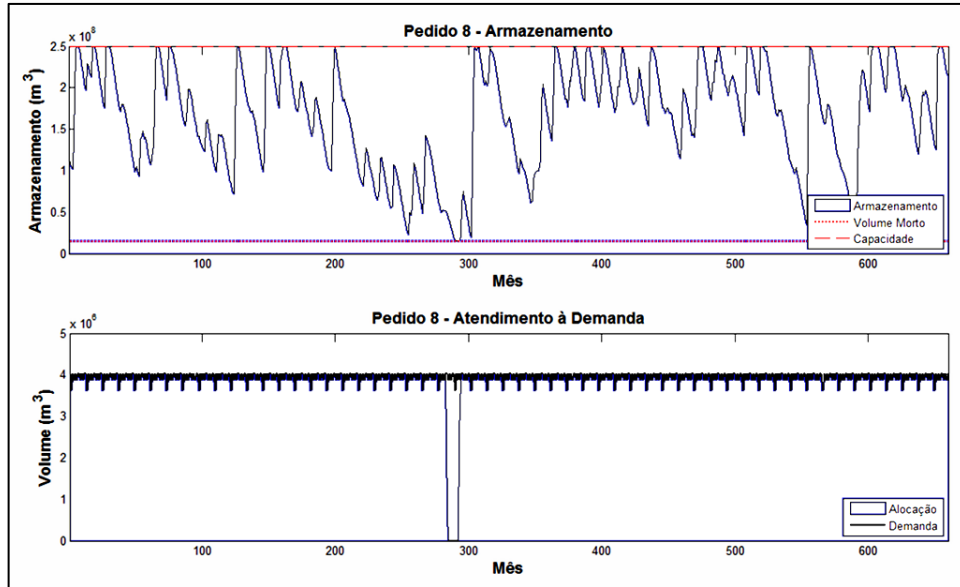


Figura 6.29d- Volumes armazenados no reservatório Acauã e atendimento ao canal da integração ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) - Cenário C2-B.

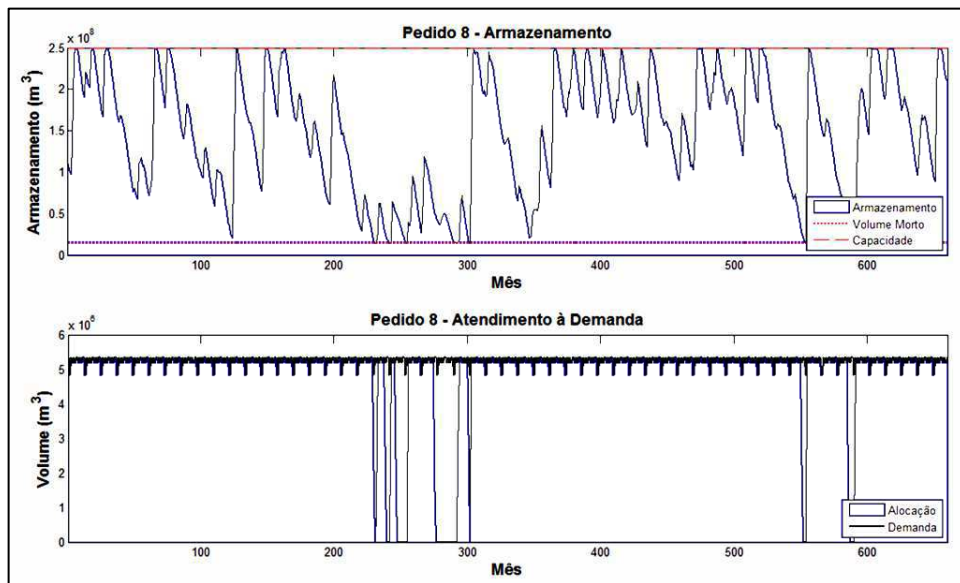


Figura 6.29e- Volumes armazenados no reservatório Acauã e as falhas no atendimento ao canal da integração ($2,0 \text{ m}^3/\text{s}$) - Cenário C2-B.

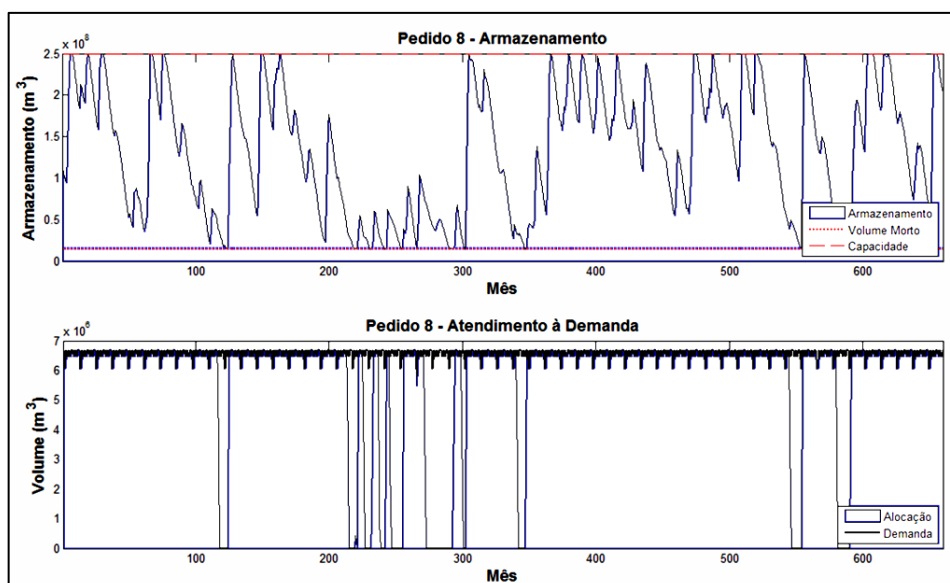


Figura 6.29f- Volumes armazenados no reservatório Acauã e as falhas no atendimento ao canal da integração ($2,5 \text{ m}^3/\text{s}$) – Cenário C2-B.

6.3 RESULTADOS DOS MODELOS DE COBRANÇA

6.3.1 Análise do Canário C1

Para o Cenário C1 foi considerada a mesma ordem de prioridade de atendimento obtida da análise multicriterial (item 6.1.2.1), utilizada no modelo de outorga, com simulações realizadas por acréscimo individual de usuários.

Os coeficientes utilizados no cálculo da cobrança para este cenário foram: $X1=1$ (captação superficial); $X2=1$ (enquadramento Classe 2); $X3=1,02$ (a bacia hidrográfica na qual estão inseridos os reservatórios estudados $IAD=1,0$, (AESAs, 2006)); o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$; $X4$ variável conforme garantia do atendimento da outorga, $X5$ variável, conforme perdas adotadas nas situações estudadas. Os resultados do Cenário C1 estão apresentados por reservatório.

Reservatório Poções

Neste cenário, a análise da cobrança pelo uso da água foi realizada aplicando-se os modelos de cobrança ao volume outorgado para o abastecimento humano, única outorga existente para o reservatório de Poções, com 100% de garantia, conforme resultados do modelo de outorga. A cobrança para a outorga de abastecimento humano do Pedido 1 foi verificada para as seguintes situações:

Pedido 1

- Situação 1: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 15%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,85 do valor outorgado; perdas no sistema de abastecimento de 10%.

- Situação 2: sem reservas de água pelo usuário, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado, com perdas no sistema de abastecimento de 15%.

- Situação 3: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado; as perdas no sistema de abastecimento de 10%.

- Situação 4: sem reservas de água pelo usuário, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado, as perdas no sistema de abastecimento de 36% (índice de perdas da CAGEPA conforme SNIS, 2014).

- Situação 5: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 15%, com perdas no sistemas de abastecimento de 36%.

- Situação 6: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado; as perdas no sistema de abastecimento seria de 36%.

A Tabela 6.26 e o Gráfico 6.6 apresentam os valores cobrados pelo volume anual outorgado e os percentuais de acréscimo do valor cobrado pela modelo proposto, com diferentes coeficientes, conforme o perfil do usuário.

Tabela 6.26 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Poções.

Cenário 1 - Cobrança								
Ordem	Tipo de	Demanda	Garantia	Preço	Cobrança pelo uso da água bruta R\$			
Prioridade	Uso	(m3/s)	(%)	Unitário R\$	Situações Analisadas	Metodologia Atual K=1	Metodologia Proposta - Coeficiente Variados	
Pedido 1	Abast. Humano	0,010	100,00	0,012	Situação 1	Reserva de água em 15%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	3.784,32	3.860,01
Pedido 1	Abast. Humano	0,010	100,00	0,012	Situação 2	Sem reserva de água, perda 15%, X5=1,025; Kreserv=0,8	3.784,32	3.956,51
Pedido 1	Abast. Humano	0,010	100,00	0,012	Situação 3	Reserva de água em 25%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	3.784,32	4.058,68
Pedido 1	Abast. Humano	0,010	100,00	0,010	Situação 4	Sem reserva, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	3.784,32	4.053,01
Pedido 1	Abast. Humano	0,010	100,00	0,012	Situação 5	Reserva de água em 15%, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	3.784,32	4.053,01
Pedido 1	Abast. Humano	0,010	100,00	0,012	Situação 6	Reserva de água em 25%, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	3.784,32	4.251,68

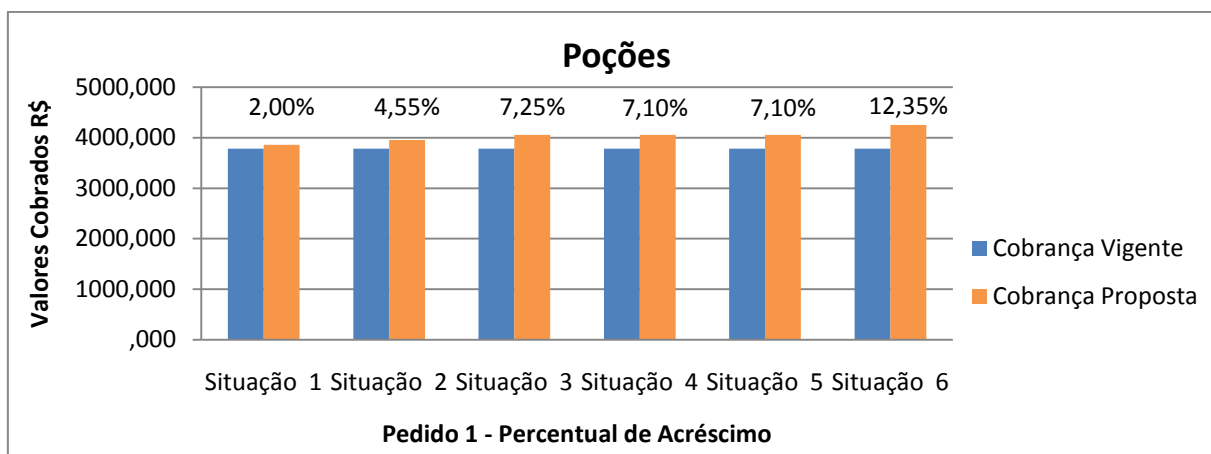


Gráfico 6.6 – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário C1– Poções.

Para o Pedido 1, observa-se pelo modelo de cobrança proposto que as variações no perfil do usuário quanto as reservas e perdas de água tem implicações significativas quanto aos valores cobrados em relação a cobrança vigente. Para a situação 1, considerando que o comitê da bacia admitiria uma reserva de 20% do valor outorgado e que a reserva do outorgado foi de 15%, a diferença do valor cobrado foi de apenas 2,00%. O fato da perda de água adotada ser de 10% (coeficiente $X4=1$), também contribuiu para o pequeno valor de acréscimo. Já para as situações 2 e 3, o valor cobrado aplicando o modelo proposto ficaria acima do valor cobrado pelo Estado em 4,55% e 7,25%, respectivamente, devido ao aumento na perda para 15% e na reserva de água em 25%.

Para as situações 4, 5 e 6, os acréscimos da cobrança ficaram em 7,10%, 7,10% e 12,35%. Nas três situações as perdas consideradas foram de 36%, contudo, na situação 3, o usuário faz reserva de água em 25%, implicando no maior acréscimo entre as situações analisadas. As situações 4 e 5 apresentam valores de cobrança igual pelo modelo proposto já que a reserva de 15%, da situação 5 está dentro do limite estabelecido para o Comitê da bacia (20%) não havendo diferença para aquele que solicitou outorga sem reservas na situação 4.

Reservatório Cordeiro

Para a análise da cobrança pelo uso da água deste cenário, cuja simulação foi realizada por usuário, em um total de 14 (Tabela 6.11), ordenados por tipo de uso conforme definido na análise multicriterial, optou-se por apresentar apenas os resultados da garantia das outorgas destinadas para o abastecimento humano, as quais foram de 99,85% e 98,03%. Os volumes outorgados para a irrigação, por usuário, estão abaixo dos 350.000 m³/ano, portanto não

sujeitos a cobrança, conforme a Decreto estadual pertinente. A cobrança para as outorgas de abastecimento humano dos pedidos 1 e 2, foram verificadas para as seguintes situações:

Pedido 1

- Situação 1: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 15%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,85 do valor outorgado; o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$; perdas no sistema de abastecimento de 10%.

- Situação 2: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado, com perdas no sistema de abastecimento de 10% e considerando que o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 3: sem reservas de água, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado; as perdas no sistema de abastecimento de 36% (índice de perdas da CAGEPA), segundo SNIS (2014) e considerando que o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

Pedido 2

- Situação 1: sem reservas de água pelo usuário, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado, com perdas no sistema de abastecimento de 15% e considerando que o comitê admita reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 2: sem reservas de água, com perdas no sistema de abastecimento de 36% e considerando que o comitê admita reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 3: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado; o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$; as perdas no sistema de abastecimento seriam de 36%.

Os valores cobrados pelos volumes anuais outorgados e os percentuais de acréscimo do valor cobrado pela modelo proposto estão apresentados na Tabela 6.27 e nos gráficos 6.7a e 6.7b.

Tabela 6.27 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Cordeiro.

Cenário 1 - Cobrança								
Ordem	Tipo de	Demanda	Garantia	Preço	Cobrança pelo uso da água bruta R\$			
Prioridade	Uso	(m3/s)	(%)	Unitário R\$	Situações Analisadas	Metodologia Atual K=1	Metodologia Proposta - Coeficiente Variados	
Pedido 1	Abast. Humano	0,140	99,85	0,012	Situação 1	Reserva de água em 15%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	52.941,27	52.941,27
Pedido 1	Abast. Humano	0,140	99,85	0,012	Situação 2	Reserva de água em 25%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	52.941,27	55.699,51
Pedido 1	Abast. Humano	0,140	99,85	0,012	Situação 3	Sem reserva, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	52.941,27	55.566,09
Pedido 2	Abast. Humano	0,140	98,03	0,012	Situação 1	Sem reserva, perda 15%, X5=1,025; Kreserv=0,8	52.941,27	54.243,09
Pedido 2	Abast. Humano	0,140	98,03	0,012	Situação 2	Sem reserva, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	52.941,27	55.566,09
Pedido 2	Abast. Humano	0,140	98,03	0,012	Situação 3	Reserva de água em 25%, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	52.941,27	58.345,51

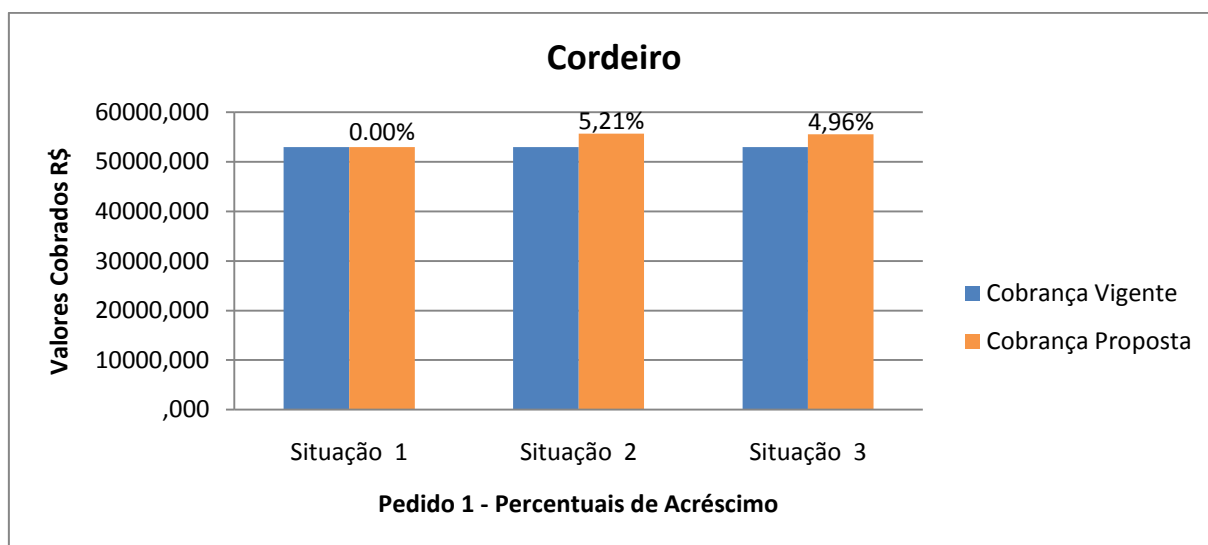


Gráfico 6.7a – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário 1 – Cordeiro.

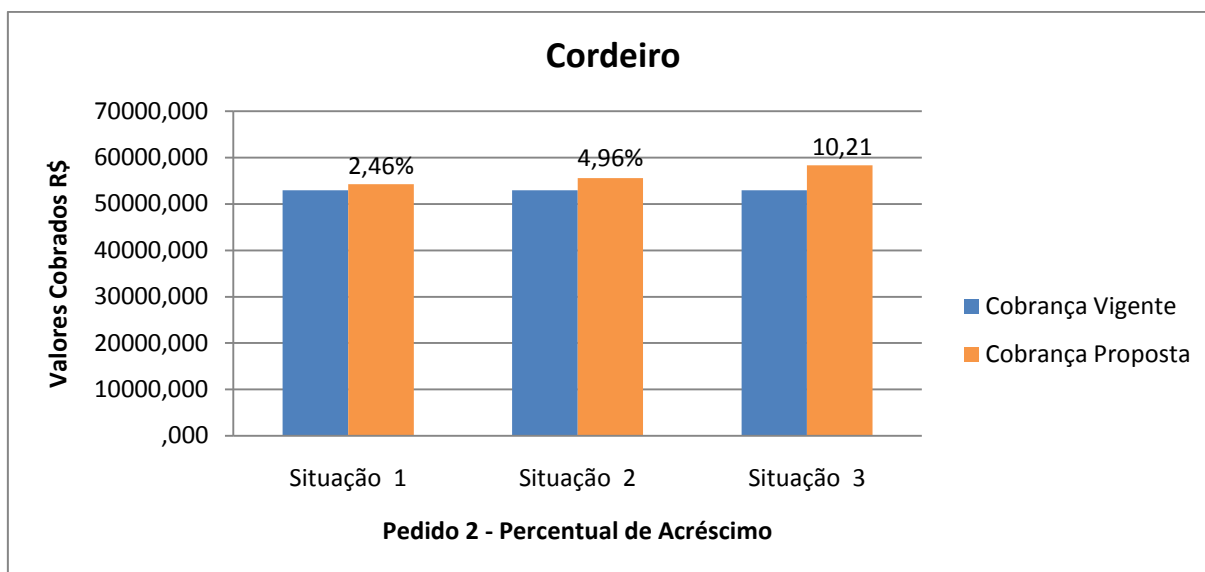


Gráfico 6.7b – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 2 do Cenário 1 – Cordeiro.

Para a situação 1 do Pedido 1, considerando que o comitê da bacia admitiria uma reserva de 20% do valor outorgado e que a reserva do outorgado foi de 15%, além de que a perda de água adotada foi de 10% (coeficiente $X4=1$) não se obteve diferença entre os valores cobrados com a aplicação dos dois métodos. Para as situações 2 e 3, o valor cobrado aplicando o modelo proposto ficaria acima do valor cobrado pelo Estado em 5,21% e 4,96%, respectivamente, devido ao aumento da reserva de água para 25% e da perda de água para 36%.

Na análise realizada para o Pedido 2, a situação 1 apresentou acréscimo do valor cobrado em 2,46%. Para as situações 2 e 3, os acréscimos foram de 4,96% e 10,21%, respectivamente. A situação 3 foi apresentada como a mais desfavorável por se considerar perda de 36% e reserva de 25%.

Esse acréscimo no valor se justifica pela proposta do modelo em incentivar o uso racional da água, já que o volume alocado para atender tanto as reservas de água quanto as perdas em torno de 36%, pode vir a comprometer a garantia de atendimento à outras outorgas ou a entrada de novos usuários.

Reservatório Camalaú

Semelhante ao reservatório Poções, a análise da cobrança pelo uso da água foi realizada aplicando-se os modelos de cobrança ao volume outorgado para o abastecimento humano, com 100% de garantia, conforme resultados do modelo de outorga. As situações analisadas

para a cobrança foram as seguintes:

Pedido 1

- Situação 1: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 15%; o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$; perdas no sistema de abastecimento de 10%.

- Situação 2: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, com perdas no sistema de abastecimento de 10% e considerando que o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 3: sem reservas de água pelo usuário, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado; as perdas no sistema de abastecimento de 15% e considerando que o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 4: sem reservas de água pelo usuário, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado, as perdas no sistema de abastecimento de 36% (índice de perdas da CAGEPA, segundo SNIS, 2014) e considerando que o comitê admita reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 5: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, com perdas no sistema de abastecimento de 36% e considerando que o comitê admita reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 6: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado. Nesta situação o comitê não admitiria reserva do volume de água outorgado, logo, $K_{\text{reserv}}=1$. A perda no sistema de abastecimento seria de 36%.

A Tabela 6.28 e o Gráfico 6.8 apresentam os valores cobrados pelo volume anual outorgado e os percentuais de acréscimo do valor cobrado pela modelo proposto, com diferentes coeficientes, conforme o perfil do usuário.

Tabela 6.28 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Camalaú.

Cenário 1 - Cobrança								
Ordem	Tipo de	Demanda	Garantia	Preço	Cobrança pelo uso da água bruta R\$			
Prioridade	Uso	(m ³ /s)	(%)	Unitário R\$	Situações Analisadas	Metodologia Atual K=1	Metodologia Proposta - Coeficiente Variados	
Pedido 1	Abast. Humano	0,015	100,00	0,012	Situação 1	Reserva de água em 15%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	5.827,85	5.944,41
Pedido 1	Abast. Humano	0,015	100,00	0,012	Situação 2	Reserva de água em 25%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	5.827,85	6.250,37
Pedido 1	Abast. Humano	0,015	100,00	0,012	Situação 3	Sem reserva, perda 15%, X5=1,025; Kreserv=0,8	5.827,85	6.093,02
Pedido 1	Abast. Humano	0,015	100,00	0,012	Situação 4	Sem reserva, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	5.827,85	6.241,63
Pedido 1	Abast. Humano	0,015	100,00	0,012	Situação 5	Reserva de água em 25%, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	5.827,85	6.547,59
Pedido 1	Abast. Humano	0,015	100,00	0,012	Situação 6	Reserva de água em 25%, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=1,0	5.827,85	8.062,83

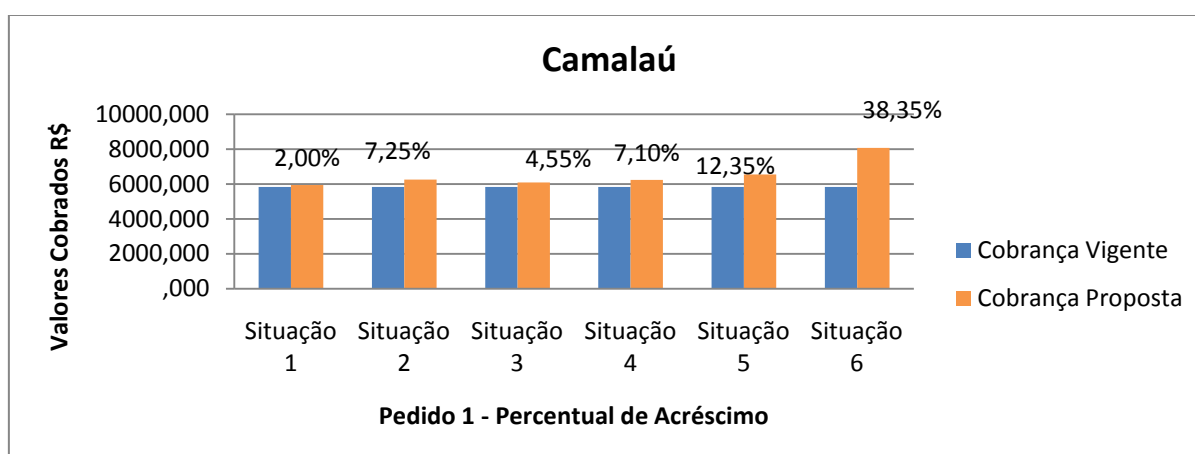


Gráfico 6.8 – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário C1 – Camalaú.

Das situações analisadas, a reserva da água outorgada em 25%, correspondeu a um acréscimo de 7,25% em relação ao valor cobrando quando não existe diferenciação entre o perfil dos usuários. Na situação 4, o acréscimo foi de 7,10%, quando considerado a perda de 36% e para a situação 5 o acréscimo foi de 12,35%, devido a reserva de 25% e perda de 36% considerados. O maior acréscimo ocorreu na a situação 6, para qual adotou-se que o comitê não permitiria reserva do volume outorgado pelo usuário, ou seja, $K_{reserv} = 1$. Caso o usuário utilize apenas 75% da outorga solicitada e que apresente perdas de 36%, pagaria um percentual maior em 38,35% em relação a cobrança vigente no Estado.

Reservatório Epitácio Pessoa

Para a análise da cobrança pelo uso da água, neste cenário, a simulação foi realizada por

usuário, em um total de 11 (Tabela 6.17), ordenados por tipo de uso conforme definido na análise da outorga. Serão apenas os resultados da garantia das outorgas destinadas para o abastecimento humano. Os volumes outorgados para a irrigação, por usuário, estão abaixo dos 350.000 m³/ano, portanto não sujeito a cobrança, conforme o Decreto Estadual pertinente. A cobrança para as outorgas de abastecimento humano dos pedidos 1 e 2 foram verificadas para as seguintes situações:

Pedido 1

- Situação 1: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 15%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,85 do valor outorgado; o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$; perdas no sistema de abastecimento de 10%.

- Situação 2: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado, com perdas no sistema de abastecimento de 10% e considerando que o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 3: sem reservas de água, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado; as perdas no sistema de abastecimento de 36% (índice de perdas da CAGEPA, segundo SNIS, 2014) e considerando que o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

Pedido 2

- Situação 1: sem reservas de água pelo usuário, ou seja, o valor medido seria o valor outorgado, com perdas no sistema de abastecimento de 15% e considerando que o comitê admita reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 2: sem reservas de água, com perdas no sistema de abastecimento de 36% e considerando que o comitê admita reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$.

- Situação 3: foi considerado reserva de água pelo usuário no percentual de 25%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,75 do valor outorgado; o comitê admitiria reserva do volume de água outorgado em 20%, $K_{\text{reserv}}=0,8$; as perdas no sistema de abastecimento seria de 36%.

Os valores cobrados pelos volumes anuais outorgados e os percentuais de acréscimo do valor cobrado pela modelo proposto estão apresentados na Tabela 6.29 e nos gráficos 6.9a e 6.9b.

Tabela 6.29 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes – Epitácio Pessoa.

Cenário 1 - Cobrança								
Ordem	Tipo de	Demanda	Garantia	Preço	Cobrança pelo uso da água bruta R\$			
Prioridade	Uso	(m3/s)	(%)	Unitário R\$	Situações Analisadas	Metodologia Atual K=1	Metodologia Proposta - Coeficiente Variados	
Pedido 1	Abast. Humano	0,071	100,00	0,012	Situação 1	Reserva de água em 15%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	26.868,67	27.406,05
Pedido 1	Abast. Humano	0,071	100,00	0,012	Situação 2	Reserva de água em 25%, perda 10%, X5=1,0; Kreserv=0,8	26.868,67	28.816,65
Pedido 1	Abast. Humano	0,071	100,00	0,012	Situação 3	Sem reserva, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	26.868,67	28.776,35
Pedido 2	Abast. Humano	1,230	98,30	0,012	Situação 1	Sem reserva, perda 15%, X5=1,025; Kreserv=0,8	465.305,27	476.747,12
Pedido 2	Abast. Humano	1,230	98,30	0,012	Situação 2	Sem reserva, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	465.305,27	488.375,10
Pedido 2	Abast. Humano	1,230	98,30	0,012	Situação 3	Reserva de água em 25%, perda 36%, X5=1,05; Kreserv=0,8	465.305,27	512.803,63

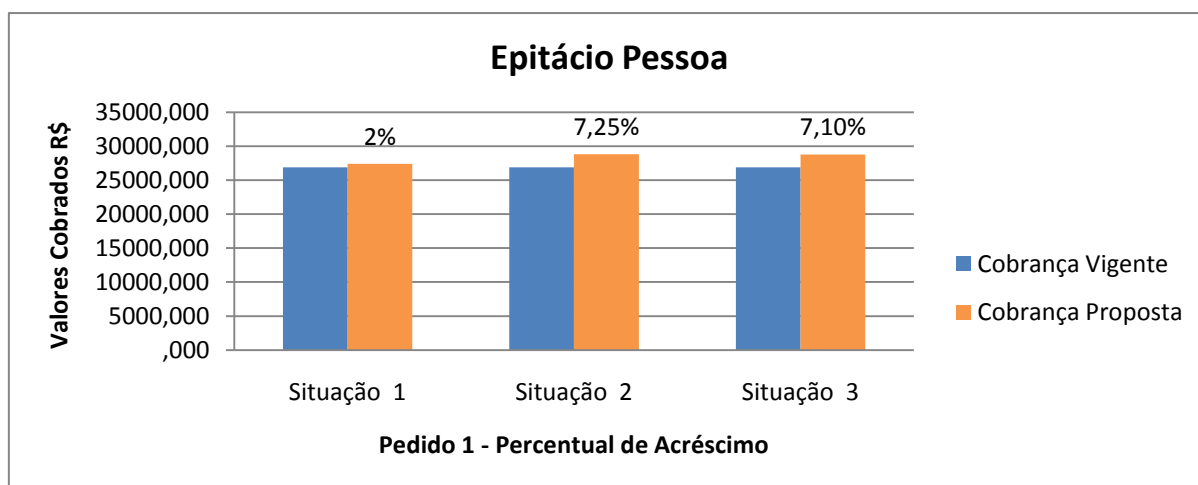


Gráfico 6.9a – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 1 do Cenário C1 – Epitácio Pessoa.

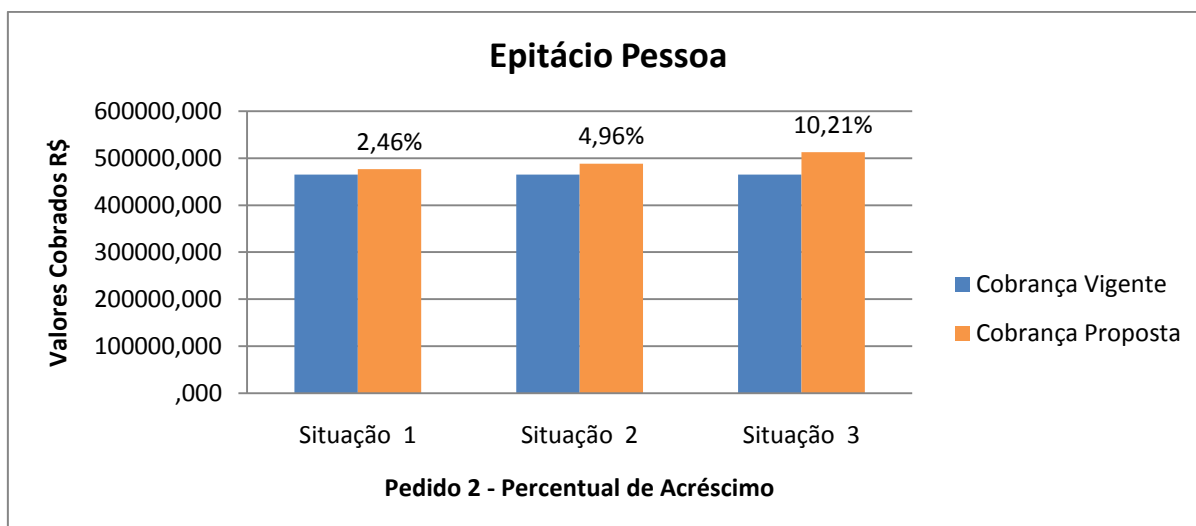


Gráfico 6.9b – Valores cobrados por volume anual outorgado para o Pedido 2 do Cenário C1 – Epitácio Pessoa.

Para o Pedido 1, observa-se pela aplicação do modelo de cobrança proposto que as variações no perfil do usuário quanto as reservas e perdas de água tem implicações significativas quanto aos valores cobrados em relação a cobrança vigente. Para a situação 1, considerando que o Comitê da bacia admitiria uma reserva de 20% do valor outorgado e que a reserva do outorgado foi de 15%, a diferença do valor cobrado foi de apenas 2,46%. O fato da perda de água adotada ser de 10% (coeficiente $X_4=1$), também contribuiu para o pequeno valor de acréscimo. Nas situações 2 e 3, o valor cobrado aplicando o modelo proposto ficaria acima do valor cobrado pelo Estado em 7,25% e 7,10%, respectivamente. Esse acréscimo no valor se justifica por se adotar um valor de perda superior as situações anteriores, o qual foi de 36%.

Análise semelhante foi realizada para o Pedido 2, para o qual a situação 1 apresentou acréscimo do valor cobrado em 2,46%. Para as situações 2 e 3, os acréscimos foram de 4,96% e 10,21%, respectivamente. Ressalva-se que o Pedido 2 teve a outorga concedida com garantia inferior a anterior, 98,3% (coeficiente $X_4=0,98$). A situação mais desfavorável foi a 3 para a qual foi considerado perda de 36% e reserva de 25%.

Reservatório Acauã

Os coeficientes utilizados no cálculo da cobrança para este cenário foram: $K_{\text{reserv}}=1,0$; $X_1=1$; $X_2=1$; $X_3=1,02$ (a bacia hidrográfica na qual está inserida a barragem de Acauã possui $IAD=1,0$, (AESAs, 2006)); X_4 =variável, X_5 =variável, $Y_1=1,0$; $Y_2=1,0$, $Y_3=1,0$; $Y_4=1,0$; $K_2=1,0$ e $k_3=0,98$. As definições e valores dos coeficientes estão apresentados na Tabela 5.4 (Capítulo V). As variações dos coeficientes, das perdas e das reservas de água para

cada outorga estão indicadas na Tabela 6.30.

Tabela 6.30 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C1 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Acauã.

Cenário C1 - Cobrança							
Ordem	Tipo de	Demanda	Garantia	Preço	Cobrança pelo uso da água bruta R\$		
Prioridade	Uso	(m ³ s ⁻¹)	(%)	Unitário R\$ m ⁻³	Situações Analisadas	Metodologia do Estado K=1	Metodologia Proposta - Coeficiente Variados
1	Humano	0,003	100,00	0,012	Vol. Anual<200 mil m ³	0,00	0,00
2	Humano	0,106	100,00	0,012	Reserva de água em 5%, X4=1,0; X5=1,0	40.113,79	42.203,72
3	Humano	0,027	100,00	0,012	perdas 10%, X5=1,10	10.217,66	11.234,93
15	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.221,45
16	Irrigação	0,022	100,00	0,003	perdas 5%,X5=1,05	1.197,50	1.282,53
17	Irrigação	0,022	100,00	0,003	perda 10%. X5=1,10	1.197,50	1.343,60
18	Irrigação	0,022	100,00	0,003	perda 25%. X5=1,25	1.197,50	1.526,82
19	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X2=0,98	1.197,50	1.197,02
20	Irrigação	0,022	100,00	0,003	reserva de 5%	1.197,50	1.284,32
21	Irrigação	0,022	99,67	0,003	X4=0,98, X5=1	1.197,50	1.197,02
27	Efluente	1,130	-	0,012	DBO, K3 = 0,98	427.628,16	436.180,72

Para a análise deste cenário, cuja simulação foi realizada por usuário, em um total de 49, ordenados por tipo de uso conforme definido nos cenários para a aplicação do modelo de outorga, optou-se por apresentar os resultados da garantia das outorgas destinadas para o abastecimento humano, lançamento de efluentes e para os irrigantes com o mesmo volume outorgado. A outorga para lançamento de efluentes foi considerada no estudo de cobrança por estar presente entre as outorgas concedidas do reservatório Acauã. Para a análise da cobrança pelo uso da água, a partir dos volumes outorgados e das respectivas garantias de atendimento definidas pelo modelo de outorga, aplicou-se a equação 2.1, com K=1, e a equação 5.1, variando os coeficientes para representar perfis diferentes de usuários de água:

- abastecimento humano: o pedido 1 não está sujeito a cobrança, pois o volume anual é menor que 200.000m³ano⁻¹ conforme determina o Decreto estadual pertinente; para o pedido 2 foi considerado reserva de água no percentual de 5%, ou seja, o valor medido corresponderia a 0,95 do valor outorgado e no pedido 3 considerou-se que o sistema destinado ao abastecimento humano apresenta perdas em torno de 10%. Para o Pedido 2, o valor da cobrança seria superior em 5,2% e para o pedido 3, devido as perdas de água em 10% o usuário pagaria 9,96% a mais em relação ao que pagaria pela cobrança vigente.

- irrigação: pode-se observar que para um mesmo volume outorgado, o usuário poderá

pagar valores diferenciados pelo uso da água bruta, tendo em vista a garantia do seu atendimento, observado no pedido 21, as perdas no sistema de irrigação adotado, conforme apresentado nos pedidos 16, 17 e 18, a classe do enquadramento do corpo d'água no local de captação para o pedido 19 e reserva de água em 5% no pedido 20. O número do pedido representa a sua ordem de prioridade na simulação realizada, que neste cenário foi por usuário. Neste cenário proposto os usuários dos pedidos 19 e 21 pagariam pela cobrança 0,04% a menos e os demais irrigantes pagariam valores superiores, chegando a 27% a mais para o usuário 18.

- para o lançamento de efluentes considerou-se que 100% do efluente é tratado e que a faixa de redução da carga orgânica está entre 70 e 80%. Pela metodologia, na renovação da outorga, caso haja melhorias na eficiência da redução da DBO, o usuário será cobrado a menos e em situação contrária pagaria valores maiores, conforme será apresentado no cenário posterior.

Na metodologia vigente no Estado, a variação entre os valores cobrados se dá apenas pelo volume outorgado e pelo valor unitário cobrado por tipo de uso. Na metodologia proposta observam-se variações a ser paga pelos usuários conforme seu perfil de uso da água, implicando em valores mais elevados para aqueles não promovem um uso mais racional e menos poluente dos recursos hídricos da bacia.

6.3.2 Análise do Cenário C2

Reservatório Acauã

Neste cenário, a ordem de prioridade das finalidades das outorgas é a mesma do Cenário C1, sendo simulado por usuário. Adotou-se para todos os coeficientes de cobrança para captação o valor 1 (um). Dos coeficientes de cobrança para o lançamento de efluentes, adotou-se $K3=1,0$, indicando uma melhoria em relação ao cenário anterior no que se refere ao tratamento do efluente a ser diluído, e fez-se outra avaliação considerando uma piora no tratamento, $K3=0,95$. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.31.

Em termos de garantia de atendimento das outorgas, da mesma forma que no Cenário C1, a alocação de água foi priorizada para o abastecimento humano seguida da irrigação e obteve-se garantia de 100% no atendimento para os pedidos apresentados. Não foi considerado garantia para o volume de água necessário para diluição de efluentes por se considerar um uso não consuntivo.

Tabela 6.31 Resultados das garantias de atendimento às demandas do Cenário C2 e valor da cobrança calculado adotando-se diferentes coeficientes - Acauã.

Cenário C2 - Cobrança							
Ordem	Tipo de Demanda	Garantia	Preço	Cobrança pelo uso da água bruta R\$			
Prioridade	Uso	(m ³ s ⁻¹)	(%)	Unitário R\$ m ⁻³	Situações Analisadas	Metodologia Atual K=1	Metodologia Proposta - Coeficiente Variados
1	Humano	0,003	100,00	0,012	Vol. Anual < 200 mil m ³	0,00	0,00
2	Humano	0,106	100,00	0,012	Sem perdas, sem reservas	40.113,79	40.113,79
3	Humano	0,027	100,00	0,012	Sem perdas, sem reservas	10.217,66	10.217,66
5	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
6	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
7	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
8	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
9	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
10	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
11	Irrigação	0,022	100,00	0,003	X4=1,0; X5=1,0	1.197,50	1.197,50
27	Efluentes	1,130	-	0,012	DBO, K3 = 1,0 melhoria no tratamento	427.628,16	427.628,16
27	Efluentes	1,130	-	0,012	DBO, K3 = 0,95 piora no tratamento	427.628,16	449.009,57

Em relação à cobrança pelo uso da água bruta, calculada sobre dos volumes anuais outorgados, observam-se valores iguais a serem cobrados para o abastecimento humano e para a irrigação com a aplicação das duas metodologias (vigente e a proposta). Isso se deu por se adotar todos os coeficientes iguais a 1 na metodologia proposta o que indica sua flexibilidade para ser utilizada conforme definições adotadas pelos tomadores de decisão.

Em relação à cobrança sobre o volume anual outorgado para a diluição de efluentes, no Cenário C1, o coeficiente que mede a eficiência na remoção da carga orgânica, medida em DBO (k3), foi de 0,98. No Cenário C2, realizaram-se duas análises: uma melhoria na eficiência do tratamento, K3=1,0, resultando em o usuário de água pagar a menos na renovação da outorga o correspondente a 1,96% e no caso inverso, onde o K3=0,95, o usuário pagaria a mais 2,94% em relação ao cenário anterior.

O resultado demonstra o objetivo da metodologia em diferenciar o perfil dos usuários de água e incentivá-los a melhorar a qualidade do efluente a ser diluído para o qual a outorga é solicitada.

CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

Por meio da análise multicriterial foi possível obter dos decisores as prioridades para o atendimento às outorgas, considerando a importância dos critérios nas dimensões ambientais, técnicas, sociais e econômicas.

O modelo Promethee utilizado na pesquisa permite considerar o ordenamento das alternativas de acordo com as preferências dos tomadores de decisão e por meio da atribuição de valores aos critérios. O método mostrou ser uma importante ferramenta de apoio à decisão, podendo ser utilizado em instâncias de decisão voltadas para alocação de água.

Os critérios selecionados permitiram que não só os aspectos quantitativos, mas também as características qualitativas tivessem seu impacto mensurado concomitantemente na definição do ranking de concessão de outorgas.

De um modo geral, os decisores que responderam ao questionário submetido atribuíram maiores pesos aos critérios da dimensão ambiental. Não houve variações significativas nas posições das alternativas entre os decisores. O uso com maior consumo de água (irrigação por sulco) permaneceu na última posição nos resultados individuais. Considerando que o abastecimento humano é prioritário conforme a legislação estadual de recursos hídricos, o ranking global obtido neste estudo com a aplicação do PROMETHEE II, a partir da preferência dos decisores, foi em segundo lugar o uso para a indústria seguido da piscicultura, irrigação por microaspersão, aspersão e por sulco. A piscicultura ficou em terceiro lugar entre 10 dos 11 decisores por ser uma atividade com baixo consumo de água e o uso da água na indústria se apresenta em segundo lugar no ranking por ter o maior número de critérios com fluxo líquido positivo.

A prioridade de alocação de água para diversos usos com base em análise multicritério possibilita uma visão mais ampla entre os tomadores de decisão quanto aos seus interesses, no tocante ao gerenciamento da disponibilidade hídrica da bacia e na preservação da qualidade dos recursos hídricos, de modo a minimizar os conflitos.

No que se refere ao aspecto da qualidade, ressalva-se que os órgãos gestores de recursos hídricos devem atentar para o controle do desenvolvimento da atividade da piscicultura em tanques-rede, principalmente em reservatórios destinados ao abastecimento humano, devido

aos efluentes gerados pela atividade que podem causar danos ao ecossistema aquático local. Conforme Cyrino *et. al.* (2010), se faz necessários projetos responsáveis de manejo de emissão de efluentes e a adoção de estratégias de produção bem pensadas para que os sistemas de piscicultura intensivos tenham baixo impacto ambiental.

Em relação ao modelo de outorga utilizado no desenvolvimento da pesquisa, este se mostrou adequado para a finalidade de se analisar as garantias das outorgas (podendo ter volumes mensais variáveis, para se adequar aos requerimentos dos usos da água), concedidas segundo uma ordem de prioridade de atendimento, bem como avaliar a possibilidade de inserir novos pedidos para os reservatórios em estudo.

Para o Cenário C1-A, com base nas prioridades de atendimento às outorgas para a bacia hidrográfica do rio Paraíba, definidas pela análise multicriterial, as demandas para o abastecimento humano dos reservatórios Poções e Camalaú seriam atendidas com garantia de 100%.

Para o reservatório Cordeiro, a garantia do atendimento às novas outorgas para irrigação, que ainda estão em análise pelo órgão competente, ficou abaixo dos 90% estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 19.260/97.

Das outorgas atendidas pelo reservatório Epitácio Pessoa, o abastecimento humano teve garantia de 98,94%. As outorgas para irrigação apresentaram garantia de atendimento inferior a 80%, quando simulado conforme a ordem de prioridades definidas para a bacia. Resultado este que demonstra que o reservatório Epitácio Pessoa, não havendo aporte externo de vazão, fica limitado a atender ao abastecimento humano, pois não se obteve garantia em longo prazo, de suprir outras demandas, sem ocasionar déficits aos sistemas adutores existentes.

Para o reservatório Acauã, o abastecimento humano e a irrigação foram atendidos com 100% de garantia. As novas solicitações de outorga para a aquicultura e irrigação por aspersão, teriam garantia de 91,36% e 84,70%, respectivamente.

No Cenário C1-B, que considera o incremento dos vertimentos dos reservatórios a montante, a exceção do abastecimento humano, os demais usos para o reservatório Epitácio Pessoa não obtiveram garantias satisfatórias, por estarem abaixo do aceitável pelo Decreto Estadual que é de 90%.

Tais resultados demonstram que o modelo condiciona o sistema a atender as demandas por ordem de preferência e um novo pedido só é alocado após o atendimento às outorgas priorizadas ou já outorgadas. Em situações de escassez hídrica, a importância de se fazer simulações com base em prioridade de atendimento, a qual poderá ser definida por tomadores de decisão, está em fornecer subsídios aos órgãos gestores quanto à avaliação de cenários de

concessão de novas outorgas associada a uma garantia de atendimento.

Nos demais reservatórios, o incremento dos vertimentos de montante não foram significativos para proporcionar maiores acúmulos de água no final do período simulado e aumentar a garantia de atendimento às outorgas existentes.

Uma melhoria significativa dos volumes acumulados nos reservatórios e no atendimento às outorgas por prioridades foi observada em todos os reservatórios estudados quando considerada a contribuição da vazão do PISF. Nos cenários C2-A e C2-B, a garantia do atendimento às demandas foi de 100%. Isso demonstrou a possibilidade de incremento de novas outorgas aos reservatórios. Entretanto, para a inserção de novas outorgas devem-se avaliar quais reservatórios apresentam déficit ou superávit hídrico para promover uma operação adequada entre eles de modo a garantir as prioridades de atendimento previstas para todos os reservatórios que recebem a contribuição do PISF.

O PISF tem por finalidade atender ao abastecimento humano nas bacias receptoras, porém, a sinergia hídrica promovida aos reservatórios que receberão a vazão possibilita a melhoria na garantia das outras demandas.

Em relação ao instrumento da cobrança, o qual está em fase inicial de implantação no Estado da Paraíba, fica evidente o complexo equacionamento a ser resolvido para que a cobrança financie os custos com a vazão fixa a ser recebida pelo PISF, ressaltando-se a importância da adoção de uma metodologia que incentive o uso racional e a preservação da qualidade dos recursos hídricos e que seja coerente ao perfil do usuário pagador.

O modelo de cobrança proposto, incorporando vários perfis de usuários de água por meio de coeficientes variados, possibilita que a cobrança não tenha apenas uma finalidade arrecadatória, mas que exerça seu papel de incentivo ao uso racional, redução de perdas nos sistemas de abastecimento, melhorias no tratamento de efluentes e desestimule as reservas de água que inviabilizam a entrada de novos usuários na bacia.

O modelo apresentado pode ser aplicado em outras bacias, inclusive em bacias federais, cujas demandas se enquadrem na metodologia apresentada.

No modelo de cobrança vigente no Estado, a variação entre os valores cobrados se dá apenas pelo volume outorgado e pelos valores unitários cobrados por tipo de uso, os quais demonstram ser irrisórios, principalmente diante da escassez hídrica evidenciada pela situação de colapso do reservatório Epitácio Pessoa, ocorridas em 1998 e 2016, necessitando-se que os valores cobrados sejam revistos, em especial, aqueles não destinados ao abastecimento humano.

No modelo proposto, observam-se variações a serem pagas pelos usuários conforme

seus perfis de uso da água, implicando em valores mais elevados para aqueles que não promovem um uso mais racional e menos poluente dos recursos hídricos da bacia. Nas situações simuladas de usos menos econômicos (com perdas elevadas e reservas de água), obteve-se pelo modelo proposto, no cenário C1, acréscimo no valor a ser cobrado pelo volume outorgado para o abastecimento humano em relação à cobrança do Estado, de 12,35% para o reservatório Poções, 38,35% para Camalaú, e 10,21% para Epitácio Pessoa e Cordeiro. O valor cobrado pelo volume outorgado para a irrigação apresentou um acréscimo de 27% na situação mais desfavorável, simulada para o reservatório Acauã. No cenário C2, o usuário de água pagaria a menos o correspondente a 1,96%, quando promoveu melhorias no tratamento do efluente a ser lançado.

Na priorização do atendimento às demandas, empregada na alocação das outorgas e, conseqüentemente, na cobrança pelo uso da água é necessário diferenciar não apenas os tipos de uso: abastecimento humano, piscicultura, irrigação, indústria, lançamento de efluentes, mas o perfil de usuário: se este realiza reservas de água, utiliza sistemas mais ou menos eficiente de irrigação, realiza tratamento ao efluente a ser lançado e o grau de tratamento, reduz perdas nos sistemas de abastecimento, entre outros. Nesse estudo, essa diferenciação foi realizada por meio dos critérios adotados na análise multicriterial e dos coeficientes empregados no modelo de cobrança proposto, com o intuito de promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos da bacia, aprimorando a aplicação e a análise conjunta dos instrumentos de cobrança e outorga.

A metodologia integrada proposta nesta pesquisa demonstrou que um bom gerenciamento de uma bacia hidrográfica quanto à alocação de água pode ser alcançado com a priorização de atendimento de usos, associada a garantias com base nos déficits e superávits hídricos do sistema e ao pagamento pelo uso da água, de modo a promover o uso mais eficiente dos recursos hídricos da bacia, em termos quantitativos e qualitativos e que possibilite arrecadar recursos para subsidiar ações voltadas para sustentabilidade da bacia.

7.2 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

- ❖ Estudos econômicos são indispensáveis para o aprimoramento dos valores dos coeficientes sugeridos para o modelo de cobrança, os quais tem implicação direta no valor final a ser pago por tipo de usuário de água.
- ❖ Sugere-se que a análise econômica considere os valores a serem pagos pelo PISF e a

previsão de garantia de volume outorgado dentro de uma priorização de usos.

- ❖ No que tange as limitações do modelo de cobrança sugere-se, para desdobramento de futuras pesquisas, contemplar o aspecto da cobrança pela transposição de água entre bacias hidrográficas e avaliar a possibilidade de uma cobrança escalonada em situações críticas, com comprometimento do abastecimento humano.
- ❖ Outros usos sujeitos à outorga poderão ser adotadas na definição da priorização de atendimento às demandas, os quais não existiam entre os dados dos usos outorgados na área de estudo, durante o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERS, R.; JORGE, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados?. **Ambiente e Sociedade**, v. 8, n. 2, p. 99-124, 2005.

ABU-TALEB, M. F.; MARESCHAL, B. Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multicriteria method. **European Journal of Operational Research**. v. 81, n. 3, 1995, p. 500-511.

ACSELRAD, M. V., AZEVEDO, J. P. S. de, JOHNSON, R. M. F. Cobrança pelo uso da água no Estado do Rio de Janeiro, Brasil (2004-2013): histórico e desafios atuais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, abr./jun. 2015.

ACSELRAD, M. V. **Proposta de Aperfeiçoamento da Metodologia de Cobrança do Setor de Saneamento Básico no Estado do Rio de Janeiro à Luz do Objetivo de Racionalização do Uso dos Recursos Hídricos**. Tese de Doutorado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013, p. 161.

AESA-Agência de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. **Outorga – Consulta de Usuários**. 2015. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/consultas/>>. Acesso em: setembro de 2015.

AESA--Agência de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente - SECTMA; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba - AESA, 2006.

AKHBARI, M.; GRIGG. Water Management Trade-offs between Agriculture and the Environment: A Multiobjective Approach and Application. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 140, n.8, 2014.

ALENCAR, L. H. Avaliação e Gestão de Projeto na Construção Civil com Apoio do Método Multicritério Promethee. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Programa De Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Recife-PE, 2003, p. 112.

ALMEIDA, M. A.; LIRA, W. S.; CURI, W. F. Índice de pobreza hídrica aplicado em um sub bacia hidrográfica rio Paraíba. In: LIRA, W. S. *et al.* (org.). **Recursos Naturais: uma abordagem multidisciplinar**. Editora Universitária da UFPB; Realize, João Pessoa-PB (2012) p.411-432.

ALMEIDA, M. A. Estimativa da Receita Líquida e Empregos com Uso da Água Otimizado de um Reservatório no Semi Árido Paraibano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Campina Grande-PB, 2001, p. 117.

AMORIM, M. A. M.; CARVALHO, G. B. B.; THOMAS, P. T.; FREITAS, N. N.; ALVES, R. F. (2011). A Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS. **Anais...** Maceió – AL, 2011.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Outorgas emitidas pela ANA**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>>. Acesso em: setembro de 2015.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Situação da Cobrança no País**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.aspx>>. Acesso em: maio de 2014.

ANA -- Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 687, de 03 de dezembro de 2004**.

AQUINO, T. S. A.; GOMES, C. C.; SOUZA FILHO, F. DE A.; SILVA, S. M. O. Impacto da Recuperação do Investimento em Infraestrutura Hídrica na Cobrança pelo Uso da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, 2013, p.87-98.

ARAGÃO, T. G. **Transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo AcquaNet**. 2008. 124 p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2008.

ARAGONÉS-BELTRÀN, P.; PASTOR-FERRANDO, J. P.; GARCÌA-GARCÌA, F.; PASCUAL-AGULLÒ, A. An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 91, 2010, p. 1071–1086.

ARAÚJO, A. G. de; ALMEIDA, A. T. de. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v.16, n.4, 2009, p. 534-543.

AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M. F.; BALTAR, A. M. e PORTO, R. 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, 2003, p. 481-496.

BALALI, V., ZAHRAIE, B., and ROOZBAHANI, A. Integration of ELECTRE III and PROMETHEE II Decision-Making Methods with an Interval Approach: Application in Selection of Appropriate Structural Systems. **Journal of Computing in Civil Engineering**. v. 28, Issue 2, p. 297-314, mar. 2014.

BALTAR, A. M., AZEVEDO, L. G. T., RÊGO, M., PORTO, R. L. L. **Sistemas de Suporte à Decisão para Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil**. In: Série Água Brasil. World Bank, Brasília, 2003.

BANA e COSTA, C. **Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão**. Investigação Operacional, v. 66, 1988.

BANCO DO NORDESTE. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. **Caderno de Estatísticas Setoriais**. Dezembro 2013. Disponível em: http://www.bnb.gov.br/documents/88765/117073/cs_lavoura_permanente_12_2013.pdf/9a6f0f8e-3c45-433a-ac77-888cd6601e5f. Acesso em: março de 2016.

BARBOSA, D. L. A Exploração de um Sistema de Reservatórios: Uma Análise Otimizada dos Usos e Objetivos Múltiplos na Bacia do Rio Capibaribe-Pe. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pós-Graduação em Recursos Naturais. Campina Grande, 2008, p. 258.

BARBOSA, R. L. Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial. estudo de caso: reservatório Coremas – Mãe D'Água – PB. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2008, p.135.

BARBOSA, P. S. F. O emprego da análise multiobjetivo no gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros. **Revista de Ciência e Tecnologia**. São Paulo, 1997.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, 200, p. 198-215, 2010.

BOTTERO, M.; MONDINI, G. An appraisal of analytic network process and its role in sustainability assessment in Northern Italy. **Journal of Management of Environmental Quality**, v. 19, n.6, 2008, p. 642–660.

BRAGA, C. F. C.; RIBEIRO, M. M. R. Avaliação por múltiplos critérios e decisores de alternativas de gerenciamento da demanda de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, n.1, 2006, p. 37-49.

BRAGA, B.; GOBETTI, L (2002). **Análise Multiobjetivo**. In: Porto, R. L L (Org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. 2ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002, p. 361-418.

BRAGA, B. P. F., BARBOSA, P. S. F., NAKAYAMA, P. T. Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 3, N. 3, 1998, p.73-95.

BRANS & MARESCHAL. Promethee Methods. In: Figueira *et.al*. **Multicriteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. Ed: Springer Science, 2005, p. 163-196.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank project: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, 1986, p. 228-238.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 28 jun 2012.

CAMPOS, N; STUDART, T. **Gestão das águas: princípios e práticas**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. 242 p.

CAMPOS, V. N. de O.; FRACALANZA, A. P. Governança das Águas no Brasil: Conflitos pela Apropriação da Água e a Busca da Integração como Consenso. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. XIII, n. 2, 2010, p. 365-382.

CAMPOS, V. N. O. O. **Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e o Consejo de Cuenca del Valle de México**: potencialidades e limites da gestão participativa da água. 1980-2005. Tese de Doutorado em Integração da América Latina. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2008.

CÁNEPA, E. M. **Economia da Poluição**. In: Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática. Org. May, P. H., Lustosa, M. C. e Vinha, V, ed. Elsevier, Rio de Janeiro – RJ, 2003, p. 61 – 79.

CARDOSO, A. S.; BAPTISTA, M. B. Metodologia multicriterial para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbana. **REGA**. v. 10, n. 1, 2013, p. 51-67.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável?** Estudo das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Tese de Dissertação. Universidade de Brasília Centro de Desenvolvimento Sustentável Brasília–DF. Brasília-DF, 2007, p. 203.

CARRERA-FERNANDEZ, J. **Estudo de Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio Pirapama**. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, Recife, Brasil, 2000.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, J. R. **Economia dos recursos hídricos**. Salvador: Ed. Edufba, 2002, p.120.

CARVALHO, J. R. M., CURI, W. F., LIRA, W. S. Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (org.). **Gestão Sustentável de Recursos Naturais**: uma abordagem participativa. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB (2013) p.31-73.

CARVALHO, J. R. M., CURI, W. F., LIRA, W. S. Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 91-105, jan./abr. 2013.

CARVALHO, J. R. M. **Sistema de Indicadores para a Gestão de Recursos Hídricos em Municípios: Uma Abordagem Através dos Métodos Multicritério d Multidecisor**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Campina Grande – Pb, 2013, p. 253.

CBH-TJ - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê – Jacaré. **Fundamentos para Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Bacia do Tietê – Jacaré**. ARARAQUARA, 2009. Disponível em: [www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca\[0\].pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca[0].pdf). Acesso em: janeiro de 2014.

CEIVAP - Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Execução: Laboratório de Hidrologia – COPPE/UFRJ. **Cobrança pelo uso da água bruta: experiências europeias e propostas brasileiras**. Projeto PROAGUA – Fortalecimento Institucional, Fase III Sistema de Gestão da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Junho de 2001. Disponível em:

<http://www.ceivap.org.br/downloads/GPS-011.pdf>. Acesso em: dezembro de 2013.

CELESTE, A. B.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Derivação de Regras para a Operação de Reservatórios Perante Incertezas. In: VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. **Anais**. Gravatá – PE, 2006.

CLÍMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. **Programação Linear Multiobjetivo**. Coimbra, Imprensa Universidade, 2003.

COSTA, M. L. M. **Estabelecimento de Critérios de Outorga de Direito de Uso para Águas Subterrâneas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande – PB, 2009, p.128.

COSTA, M. L. M.; MEDEIROS, C. M.; BATISTA, M. L. de C.; RIBEIRO, M. M. R. Análise da Integração das Águas Superficiais e Subterrâneas no Aparato Legal de Recursos Hídricos do Brasil e do Estado da Paraíba. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Anais...** São Paulo, Brasil, 2008.

COSTA, C. A. B.; CORTE, J.; VANSNICK, J. **On the mathematical foundations of MACBETH**. London School of Economics and Political Science, Londres, 2004.

COSTA, A. M.; CAMPOS, J. N. B.; STUDART, M. de C. Alocação e Realocação do Direito de Uso da Água: Uma Proposta de Modelo de Mercado Limitado no Espaço. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n.2, 2002.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e Simulação Comparativa de Cenários de Outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 10, n.3, 2005, p. 75-91.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação dos Aspectos Técnicos e Conceituais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, 2001, P. 189.

CURI, W. F.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; BARBOSA, A. C. L. Um modelo de outorga para bacias controladas por reservatórios: Desenvolvimento do modelo que contempla demandas múltiplas e variáveis mensalmente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, 2011, p. 73-82.

CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.68-87, 2010.

DEMOLINER, K. S. **Água e saneamento básico: regimes jurídicos e marcos regulatórios no ordenamento jurídico**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2008, p.28.

DIAS, L. C., CLÍMACO, J. N. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software. **Journal of Operational Research Society**, v. 51, n. 9, 2000, p.1070-1082.

DIAS, L. C.; COSTA, J. P.; CLÍMACO, J. N. A parallel implementation of the PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, n. 104, 1998, p. 521-

531.

DINAR, A.; ROSEGRANT, M. W., E MEINZEN-DICK, R. Water Allocation Mechanisms-Principles And Examples. **World Bank Policy Research Working Paper**. Washinton, DC, n. 1779, 1997, p.43.

ELABD, S.; GHANDOUR, EI. Multiobjective Optimization of Bigge Reservoir Operation in Dry Seasons. **Journal of Hydrologic Engineering**. V. 19, n.9, 2014.

FABRETTI, THAIZE R.1 & FANTINATTI, P. A. P.; JACOMAZZI, M. A.; ZUFFO, A. Cobrança pelo uso da Água para fins de abastecimento: Proposta de cálculo por meio de Análise Multicritério. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais...Maceio-Al**, 2011.

FARIAS, E. E. V. **Distribuição da água do projeto de integração do rio São Francisco no Estado da Paraíba - eixo leste: análise de perdas**. 2009. 129 p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.

FONTES, A. T.; SOUZA, M. P. Modelo de Cobrança para a Gestão da Escassez de Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 2, 2004, p. 97-114.

GARRIDO, R. Aspectos Institucionais da Outorga e da Cobrança pelo Uso da Água. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (ABRH). **Anais...Curitiba-PR**, 2003.

GARTNER, I. R. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas**. Editora Universa, Brasília, 2001.

GONÇALVES, R. W.; PINHEIRO, P. R.; SOUSA, M. A. Métodos Multicritério 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, 2003.

GRANZIERA, M. L. M. Relatório Contendo Estado da Arte Institucional no Brasil sobre Agências de Bacia e Entidades Delegatárias na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Produto 2. Agência Nacional de Águas – ANA/CBHSF. Versão de 18.06.2007. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Agencias/Textos/PRODUTO2-AGENCIASF-FINAL.pdf>. Acesso em: dezembro de 2013.

GURGEL, A. V. Cobrança pelo uso da Água: Experiência Internacional e Nacional. Disponível em : www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/iv_en/mesa3/3.pdf. Acesso em: julho de 2013.

HERMANS, C.; ERICKSON, J.; NOORDEWIER, T.; SHELDON, A.; KLINE, M. Collaborative environmental planning in river management: An application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont. **Journal of Environmental Management**. v. 84, Issue 4, Set. 2007, p.534–546.

HAIR JUNIOR, J. F.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005, 471 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/14779712/Livro-Fundamentos-de-Pesquisa-em-Administracao-parte1>>. Acesso em: dezembro de 2015.

HOLZ, E. **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, 1999.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ESTADUAL E MUNICIPAL – IDEME. **Produto Interno Bruto do Estado da Paraíba e de seus municípios 2010-2013**. João Pessoa-PB, 2016. Disponível em: <http://ideme.pb.gov.br/servicos/pib/produto-interno-bruto-do-estado-da-paraiba-e-de-seus-municipios-2010-2013.pdf/view>. Acesso em: março de 2016.

JENERETTE, G. D. e LARSEN, L. A global perspective on changing sustainable urban water supplies. **Global and Planetary Change**, v. 50, n. 3-4, p. 202-211, 2006.

JARDIM, S. B.; LANNA, A. E. L. Aplicabilidade de Algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório no Âmbito dos Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.4, 2003, p. 169-191.

KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRH, 16 a 20/nov/1997, CD-ROM.

KETTELHUT, J. T. S.; RODRIGUEZ, F. A.; GARRIDO, R. J.; PAIVA, F.; CORDEIRO NETTO; RIZZO, H. **Aspectos legais, institucionais e gerenciais de recursos hídricos no Brasil**. O Estado das Águas no Brasil. Brasília: ANEEL, MME, MMA, p.21-26, 1999.

KHALIL, W. A.-S.; SHANABLEH, A.; RIGBY, P.; KOKOT, S. Selection of hydrothermal pre-treatment conditions of waste sludge destruction using multicriteria decision-making. **Journal of Environmental Management**. v. 75, Issue 1, 2005, p. 53-64.

KOLM, S. C. **Teorias Modernas da Justiça**. Ed. Martins Fontes. 625 p. 2000.

LANNA, A. E. L. Água Boa Para Todos – Como Obtê-la?. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (ABRH). **Anais...** Curitiba-PR, 2003.

LANNA, A. E. **Economia dos Recursos Hídricos**. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Março de 2001. Disponível em:<<http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/EcoAgua2.pdf>>. Acesso em: novembro de 2013.

LANNA, A. E. L. **Cap1: Introdução**. In: PORTO, R. L. L. (org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora da Universidade, UFRGS, ABRH, Porto Alegre, Brasil, 1997.

LANNA, A. E. **Cobrança pelo uso da água**. In: Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do rio dos Sinos, RS: Relatório interno. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1995, p. 36.

LANNA, A.E. Considerações sobre a instituição da cobrança pelo uso e a criação de mercados de água no semi-árido do Nordeste do Brasil. X Seminário-Curso do Centro

- Interamericano de Estudos Avançados da água. **Anais... ABRH**, p.83-92. Salvador: 1994.
- LARRUBIA, C. B. Método AHP como instrumento de apoio à decisão para a manutenção da qualidade da água do Reservatório de Ilha Solteira. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Paulista, 2010.
- LIMA, J. D. de, JUCÁ, J. F. T., REICHERT, G. A., FIRMO, A. L. B. Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, jan./mar. 2014.
- LIMEIRA, M. C. M. **Capacitação Social como Estratégia para Restauração de Rios: Gestão Adaptativa e Sustentável**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Campina Grande–PB, 2008, p. 297.
- LOUCKS, D. P. Quantifying trends in system sustainability. **Hydrological Sciences Journal**, v.42, n.4, p. 513-530, 1997.
- MACEDO, R. M. **Cobrança pela retirada da água bruta: Simulação para a Bacia do rio Paraíba - PB**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2006, p.183.
- MACHADO, E. C. M. N.; GALVÃO, C. de O.; SOUZA FILHO, F. de A. Alocação Qualiquantitativa de Águas em Bacias Hidrográficas: Metodologia Multiobjetivo Inserida no Contexto da Gestão dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, 2012.
- MAGALHAES FILHO, L. N. L. et al. Comparação de modelos de cobrança pelo uso da água: uma abordagem entre exemplos europeus, do Brasil e sugestões para implementação na bacia do Rio Formoso - To. In: XX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. **Anais**. Bento Gonçalves, 2013.
- MAGALHÃES, P. C. de, MARANHÃO, N., THOMAS, P., THOMAZ, F., CAMPOS, J. D. Estudo comparativo de quatro metodologias para a cobrança pelo uso da água. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, **Anais...** Paraná-Curitiba, 23 a 27, dez/2003.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002, 282 p. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/237629448/tecnicas-de-pesquisa-marconi-lakatos-pdf>>. Acesso em: dezembro de 2015.
- MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. In: XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. **Anais...** João Pessoa-PB, 2012.
- MACHARIS, C.; BRANS, J. P. e MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE Procedure. **Journal of Decision Systems**, v.7, p. 283-307, 1998.
- MARESCHAL, B.; BRANS, J. P. **Prométhée-Gaia: une méthodologie d'aide à La**

décision en présence de critères multiples. Bruxelles: Éditions de L'Université de Bruxelles, ULB Institutional Repository, 2002, p. 187.

MARTINEZ JR., F.; TOLEDO, S. R. C. A cobrança pelo uso da água - a experiência francesa e sua aplicação ao brasil. In: VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. **Anais...** Sao Luis – MA, 2004.

MONTE, F. P. **Análise Comparativa da Importância de Vinte Açudes na Bacia de Sumé-Pb com o Emprego de Métodos Multicriterial e Multidecisor.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande-PB, 2013, p. 172.

MORAES, M. M. G. A. DE; SAMPAIO, Y; CIRILO, J. A.; CAI, X. Apoio a Decisão na Gestão de Recursos Hídricos Usando Modelo Econômico-Hidrológico Integrado para Alocação Ótima de Água: Uma Aplicação na Bacia do Rio Pirapama. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n.1, 2008, p. 29-42.

MORAIS, D. C.; ALENCAR, L. H.; MOTA, C. M. DE M.; ALMEIDA, A. T. DE. Apoio a Decisão no Gerenciamento de Projeto de Abastecimento de Água. In: XXXVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. Pesquisa Operacional na Sociedade: Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Anais.** Goiânia, GO, 2006, p. 1205.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. de. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, Rio de Janeiro-RJ, 2006, p. 567-584.

NUNES JR., T. T.; MAGALHÃES JR., A. P. Perspectivas de Efetivação da Cobrança pelo Uso da Água no Brasil com Base no Caso da Porção Mineira da Bacia do Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 3, 2009, p. 17-26.

PABÓN, D. A. R. **Metodologia Multiobjetivo e Multicritério de Auxílio à Outorga de Recursos Hídricos:** Aplicação ao Caso da Bacia do Rio Preto. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília-DF, 2009, p.166.

PARETO, V. **Course D'Economy Politique.** Lausanne, Rouge, 1896.

PEARCE, D.W. **Environmental Economics.** London, Longman, 1976.

PIRES, C. L. F. A Outorga de Uso na Gestão de Recursos Hídricos. In: III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Salvador-BA, **Anais**, v.1. ABRH, 1996, p. 319-325.

PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. Análise de critérios de outorga de uso da água. In: III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Salvador, Bahia. **Anais**, v.1. ABRH, 1996, p. 335-342.

POMPERMAYER, R. de S. **Aplicação da Análise Multicritério em Gestão de Recursos Hídricos:** Simulação para as Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2003, p.137.

PORTO, M. F. A. e PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, v. 22, n. 63, 2008, p. 43-60.

PORTO, R. L. L., RÊGO, M., AZEVEDO, L. G. T., E BALTAR, A. M. **Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil**. Série Água Brasil, v. 2, Banco Mundial, Brasília, Brasil, 2003.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. **Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos**. In: PORTO R. L. L. Técnicas quantitativas para o gerenciamento dos recursos hídricos. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1997. p. 43-95.

PROMETHEE. Based Visual Promethee Software. **Operational Research Society**, version Education – 0.99.99.1.12, London, 2012.

RAMOS, M. **Gestão de recursos hídricos e cobrança pelo uso da água**. Fundação Getulio Vargas - EBAP, Escola Brasileira de Administração Pública. 61p. Rio de Janeiro – RJ, 2007.

RANDALL, A. **Resource economics: An economic approach to natural resource and environmental policy**. 2nd ed. [S. l]: John Wiley & Sons, 1944. p.434.

RIBEIRO, M. A. de F. M., BARBOSA, D. L., BATISTA, M. L. de C., ALBUQUERQUE, J. do P. T., ALMEIDA, M. A. de, RIBEIRO, M. M. R. Simulação da Prioridade de uso das Águas Superficiais como um Critério para o Instrumento da Outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 135-145, abr./jun. 2014.

RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, T. M. A.; VIEIRA, Z. M. C. L. Análise Multicriterial de Alternativas Tecnológicas para Redução do Consumo de Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 4, 2008.

RIBEIRO, M. M. R., LANNA, A. E. L. Instrumentos Regulatórios e Econômicos – Aplicabilidade à Gestão de Águas e à Bacia do Rio Pirapama, PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 6, n. 4, 2001, p.41-70.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000. p. 200.

RODRIGUES, A. C. L.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; BARBOSA, R. L.; CURI, W. F. Um Modelo de Outorga para Bacias Controladas por Reservatórios: 2 - Aplicação do Modelo na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-PB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 16, n.4, 2011, p. 83-94.

RODRIGUES, A. C. L. **Nova Proposta de Operação de Outorga em Sistemas de Reservatórios – Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Piancó**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande – PB. 2007, P. 294.

ROOZBAHANI, A.; ZAHRAIE, B.; TABESH, M. PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria (PPOC) as a New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply Management. **Water Resources Management**. V, 26, n. 12, 2012, p. 3581-3599.

RUIZ, J. A. **Metodologia científica: Guia para eficiência nos estudos**. São Paulo: Atlas, 1996.

SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Coordenadoria de Recursos Hídricos. Secretaria do Meio Ambiente. Governo do Estado de São Paulo. **Processo de Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos**. Ciclo de Conferências de Gestão Ambiental. Outubro de 2008. Disponível em: [www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/043128E9E6F43F23832575D9005593A7/\\$File/laura_stella.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/043128E9E6F43F23832575D9005593A7/$File/laura_stella.pdf). Acesso em: dezembro de 2013.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Editora Studio Nobel, Brasil, 1993, p. 103.

SACHS, I. (org.) **Political Economy of Environment - Problems of Method**. Paris, Mouton, 1972.

SAN CRISTOBAL, J. Critical Path Definition Using Multicriteria Decision Making: PROMETHEE Method. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, Issue 2, p. 158-163, abr. 2013.

SANTOS, A. A. M. **Alocação Territorial de Longo Prazo de Vazões Outorgáveis com Diferentes Garantias**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília – UNB. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – Ptarh. Brasília – DF, 2010, p. 202.

SANTOS, M. O. R. M. **O Impacto da Cobrança pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário**. Tese de Doutorado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2002.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. C. Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, 2013, p. 81-95.

SANTOS, R. B. **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, 2004.

SANTOS, V. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; VIEIRA, A. S. Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos hídricos I: Metodologia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, 2011, p. 49-60.

SANTOS, R. B. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame - PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial**. Tese de Doutorado. Programa de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

SAVENIJE, H. H. G.; VAN DER ZAAG, P. Conceptual framework for the management of shared river basins; with special reference to the SADC and EU. **Water Policy**, 2(1-2), 9-45, 2000.

SILVA, B. M. B., SILVA, D. D. da, MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, jul./set. 2015.

SILVA, S. B. **Cobrança pelo Lançamento de Efluentes: Simulação para a Bacia do rio Paraíba - PB**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2006, p.160.

SILVA, T. C. da. **Legislação Federal e Estadual sobre Recursos Hídricos temas correlatos**. Curso sobre engenharia de irrigação e gestão de recursos hídricos, UFPB, 1998.

SILVEIRA, G. L.; FORGIARINI, F. R.; GOLDENFUM, J. A. Taxa não é Cobrança: Uma Proposta para a Efetiva Aplicação do Instrumento de Gestão dos Recursos Hídricos para a Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, 2009, p.71-80.

SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. Outorga para uso dos recursos Hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, n. 3, jul/set., 1998, p. 5-16.

SILVINO, G. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Modelos multicriteriais hierárquicos multidecisores com diferentes abordagens de agregação de preferências dos decisores. **GEPROS- Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Bauru, Ano 8, nº 2, abr-jun/2013, p. 27-42.

SILVINO, G. S. **Aplicações de Modelos Multicriteriais Hierárquicos e Multidecisores para Alocação de Água no Sistema Curema-açu**. Tese de Doutorado. Universidade de Campina Grande, Pós Graduação em Recursos Naturais. Campina Grande-PB, 2008, P. 164.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto-2014**. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: setembro de 2015.

SOARES, S. R. **Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SOUZA, J. A.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. de C. L. Gestão das Águas Subterrâneas no Estado da Paraíba: Proposta de Modelos de Cobrança. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 4, out/dez 2010, p. 121-132.

SOUZA FILHO, F. A.; PORTO, R. L. L. Mercado de Água e o Estado: Lições da Teoria dos Jogos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n.4, 2008, p. 83-98.

SOUZA FILHO, F. A.; PORTO, R. L. L.; TEIXEIRA, J. N. P. G. Experimentação Comportamental em Mecanismos de Alocação de Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n.4, 2008, p. 69-81.

TAFNER, P.; LOBÃO, W. J.; CARVALHO, M. M.; BORGER, F. G. Disposição a pagar em projetos de restauração do patrimônio histórico-cultural no Brasil. **Pesquisa e Planejamento**

Econômico, v.33, 2003, p. 515-539.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Editora RiMa, IIE. 248p, 2003.

UFMS/UFMG. **Chamada Pública MCT/FINEP/CTHIDRO-GRH 01/2004**. Simulação para aplicação da cobrança em escala real – ST HIDRO - Relatório Técnico, v. 1. Convênio FATEC/UFMS/FINEP nº. 01.041052.00, 2008.

VIANA, L. F. G. **Proposta de Modelo de Cobrança de Água Bruta no Estado do Ceará: uma revisão do modelo atual**. Dissertação de Mestrado. Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia Rural, da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011, p. 85.

VIEIRA, Z. M. C. L., RIBEIRO, M. M. R. **Conflict analysis in implementing water resources management instruments**. In: Changes in water resources systems: methodologies to maintain water security and ensure integrated management. N. Giesen, X.; Jun, D.; Rosbjerg, Y.; Fukushima (Eds.). Wallingford: IAHS Press, v. 315, 2007, p. 330.

WANG, L. **Cooperative Water Resources Allocation among Competing Users**. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2005.

YAHAIA, S.; AHMAD, N.; ABDALLA, R. F. Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia- Jama'are River Basin, Nigéria. **European Journal of Scientific Research**, V.42, n.1, 2010, p. 71–83.

YANG, W.; YANG, Z. Analyzing Hydrological Regime Variability and Optimizing Environmental Flow Allocation to Lake Ecosystems in a Sustainable Water Management Framework: Model Development and a Case Study for China's Baiyangdian Watershed. **Journal of Hydrologic Engineering**. v. 19, n.5, 2014, p. 993-1005.

ZAHED, K. F., **Algumas Metodologias para o Dimensionamento e Operação de Reservatórios**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984. 258p.

ZORZAL, R. **Sistema De Suporte à Decisão para Análise de Outorga de Lançamento de Efluentes de Fontes Pontuais em Rios**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Vitória, 2009, p.202.

ZUFFO, A. C. **Incorporação de Matemática Fuzzy em Métodos Multicriteriais para Descrever Critérios Subjetivos em Planejamento de Recursos Hídricos: Fuzzy - CP e Fuzzy – CGT**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 16, n. 4, 2011, p. 29-40.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. **Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.7, n. 1, 2002, p.81 - 102.

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

APÊNDICE

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DA TESE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS



FICHA INDIVIDUAL DE PESQUISA

CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO

1. Nome (OPCIONAL) _____
1. Área de Atuação: _____
2. Instituição vinculada: _____
3. Formação: _____

A presente pesquisa de doutorado tem como objetivo estudar e buscar melhores formas de alocação de água entre seus diversos usos (abastecimento humano; irrigação de culturas perenes e sazonais, dividida por método de irrigação; indústria; piscicultura; e lançamento de efluentes) através do instrumento da outorga.

Dentro deste contexto, procurou-se elencar uma série de critérios que podem ser importantes no processo decisório de alocação de água. Procurou-se agrupar estes critérios em quatro dimensões: **econômica (com 2 critérios)**, **ambiental (com 4 critérios)**, **social (com 2 critérios)** e **técnica (com 2 critérios)**.

Gostaríamos que pudesse, dentro de seu ponto de vista, que avaliasse a importância relativa de cada um dos critérios que foi elencado para este trabalho dentro das suas respectivas dimensões. Para isso foi adotada uma escala de 5 situações: nenhum, baixo, médio, alto e muito alto.

Ao lado de cada critério é apresentada uma descrição de seu significado para esta pesquisa. Esta descrição visa discriminar o impacto que este critério pode produzir na dimensão a que pertence, para que possa fazer um melhor juízo na hora de estabelecer sua importância.

Antecipadamente agradeço sua valiosa colaboração para com o desenvolvimento deste trabalho científico.

AVALIAÇÃO DO GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS PARA CONCESSÃO DE OUTORGA

Assinale um “X” no espaço que represente o grau de importância mais adequado à sua percepção com relação a cada um dos critérios e subcritérios, os quais estão relacionados à outorga da água de reservatórios para diversos fins.

1. Critérios relacionados ao aspecto econômico

Critério Econômico	Grau de importância					Conceito
	nenhum	baixo	médio	alto	muito alto	
Cobrança pelo uso da água bruta						instrumento de gestão, que consiste na remuneração pelo uso de um bem público, no caso a água, instituída pela Lei nº 9.433/97, cujo preço é fixado a partir da participação dos usuários da água, da sociedade civil e do poder público, no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica e visa dar ao usuário uma indicação do real valor da água, promover o uso racional e obter recursos financeiros para recuperação das bacias hidrográficas.
Lucratividade						resultado da diferença entre a renda bruta total auferida e os respectivos custos de produção gerada pela atividade correspondente ao tipo de uso da água.

2. Critérios relacionados ao aspecto social

Critério Social	Grau de importância					Conceito
	nenhum	baixo	médio	alto	muito alto	
Geração de emprego						número médio de pessoas envolvidas no desenvolvimento de cada atividade que faz uso da água.
Geração de renda						estimada com base no número de diárias do trabalhador e do preço médio da diária para cada atividade que faz uso da água.

3. Critérios relacionados ao aspecto técnico

Critério Técnico	Grau de importância					Conceito
	nenhum	baixo	médio	alto	muito alto	
Utilização da Disponibilidade de água						relação entre as demandas de cada setor de uso da água e a disponibilidade da bacia
Eficiência do Sistema (redução da perda de água)						diz respeito a minimização de perdas na utilização da água para o desenvolvimento das atividades: irrigação, indústria, abastecimento humano.

4. Critérios relacionados ao aspecto ambiental

Critério Ambiental	Grau de importância					Conceito
	nenhum	baixo	médio	alto	muito alto	
Dependência Hídrica						volume de água consumido por atividade
Dano a flora e a fauna						grau dos impactos causados à fauna e flora em função do desmatamento para a implantação da atividade correlata ao tipo de uso da água
Possibilidade de erosão						contribuição do desmatamento para o aumento da erosão do solo
Comprometimento da qualidade de água						quando o desenvolvimento da atividade que faz uso da água compromete a qualidade da mesma

5. Agora gostaríamos que expressasse a sua opinião sobre a importância relativa das dimensões que foram elencadas (quais delas seriam mais importantes)

Critérios Gerais	Grau de importância				
	nenhum	baixo	médio	alto	muito alto
Econômico					
Social					
Técnico					
Ambiental					

ANEXO

ANEXO 1- Série fluviométrica média mensal do açude Poções(m³/s)

Ano / Mês	Vazões Média Mensais (m ³ /s)												Q
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1935	0,008	0,588	2,016	4,344	4,062	1,912	0,345	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,106
1936	0,010	0,471	0,069	0,162	0,364	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,094
1937	0,006	0,011	0,035	1,274	1,187	0,094	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,217
1938	0,000	0,000	0,071	0,201	0,256	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,044
1939	0,000	0,040	0,186	0,005	0,001	0,009	0,001	0,000	0,001	0,089	0,155	0,012	0,042
1940	0,024	0,081	0,859	1,524	0,862	0,050	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,285
1941	0,000	0,000	2,562	1,628	0,223	0,045	0,004	0,038	0,004	0,000	0,000	0,000	0,375
1942	0,000	0,009	0,040	0,058	0,008	0,004	0,000	0,000	0,000	0,230	0,000	0,001	0,029
1943	0,024	0,121	0,397	0,157	0,025	0,002	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,061
1944	0,001	0,000	0,103	0,081	0,009	0,308	0,032	0,000	0,000	0,008	0,003	0,000	0,045
1945	0,190	0,054	0,154	0,198	2,256	1,259	0,171	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,358
1946	0,068	0,000	0,075	0,230	0,301	0,382	0,052	0,000	0,000	0,000	0,070	0,003	0,098
1947	0,105	0,027	0,619	3,899	3,974	1,969	0,191	0,001	0,000	0,000	0,185	0,003	0,914
1948	0,000	0,000	1,898	1,999	1,271	0,245	0,042	0,000	0,000	0,002	0,000	0,012	0,456
1949	0,000	0,036	0,033	0,103	0,024	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,251	2,246	0,227
1950	0,010	0,009	0,251	1,482	1,412	0,046	0,000	0,003	0,001	0,278	0,000	0,001	0,291
1951	0,000	0,000	0,037	0,033	0,218	0,467	0,000	0,000	0,000	0,017	0,007	0,001	0,065
1952	0,000	0,228	0,259	0,104	0,399	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,073	0,089
1953	0,000	0,018	0,000	0,036	0,001	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011	0,018
1954	0,000	0,089	0,144	0,284	0,379	0,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,015	0,084
1955	0,092	0,753	1,475	0,677	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,254
1956	0,006	0,487	0,304	0,345	0,084	0,089	0,008	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111
1957	0,243	0,001	1,115	3,129	2,119	0,656	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,605
1958	0,000	0,008	0,079	0,654	0,011	0,007	0,013	0,002	0,026	0,000	0,000	0,000	0,067
1959	0,023	0,777	0,815	0,011	0,007	0,608	0,103	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,199
1960	0,000	0,002	1,866	1,874	0,221	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,335
1961	0,270	0,156	0,281	1,803	1,205	0,127	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,324
1962	0,000	0,032	0,415	0,059	0,213	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060
1963	0,042	0,075	0,934	0,246	0,009	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,352	0,139
1964	1,275	1,029	3,710	3,781	3,157	1,425	0,277	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	1,222
1965	0,437	0,068	0,210	3,011	2,637	2,015	1,237	0,002	0,000	0,073	0,000	0,005	0,808
1966	0,003	0,253	0,000	0,195	0,080	0,082	0,000	0,137	0,000	0,000	0,005	0,000	0,063
1967	0,000	0,216	2,136	4,489	5,701	3,516	1,187	0,025	0,000	0,000	0,000	0,029	1,442
1968	0,047	0,129	1,557	1,576	2,001	0,805	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,510
1969	0,075	0,050	1,265	2,420	0,855	0,040	0,375	0,033	0,000	0,000	0,000	0,007	0,427
1970	0,149	0,083	0,742	0,127	0,263	0,012	0,016	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,116
1971	0,011	0,033	0,331	1,298	1,745	0,669	0,000	0,002	0,000	0,007	0,000	0,000	0,341
1972	0,007	0,120	0,503	0,026	0,000	0,000	0,000	0,301	0,119	0,000	0,000	0,073	0,096
1973	0,006	0,090	0,701	0,606	0,238	0,002	0,010	0,001	0,019	0,042	0,002	0,010	0,144
1974	0,526	1,897	3,638	4,545	4,075	2,905	1,022	0,000	0,013	0,000	0,008	0,008	1,553
1975	0,000	0,037	1,115	0,349	0,972	0,047	0,512	0,174	0,130	0,000	0,000	0,024	0,280
1976	0,000	1,054	0,572	1,117	0,118	0,019	0,000	0,000	0,000	0,161	0,011	0,012	0,255
1977	0,055	0,101	0,177	0,388	1,173	0,187	0,058	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,183
1978	0,000	0,168	1,221	0,893	0,246	0,015	0,035	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,215
1979	0,027	0,236	0,272	0,177	0,599	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,111
1980	0,000	0,112	0,613	0,008	0,000	0,202	0,003	0,001	0,001	0,000	0,020	0,001	0,080
1981	0,070	0,086	1,425	3,430	1,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,000	0,507
1982	0,000	0,011	0,001	0,207	0,873	0,005	0,007	0,000	0,005	0,000	0,001	0,004	0,093
1983	0,000	0,410	0,090	0,030	0,002	0,008	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004	0,004	0,046
1984	0,071	0,023	0,363	3,522	5,327	4,882	3,117	0,716	0,000	0,117	0,000	0,000	1,512
1985	0,087	1,671	3,463	5,515	5,251	3,373	1,508	0,056	0,000	0,000	0,000	0,000	1,744
1986	0,002	0,623	2,183	2,751	1,892	0,294	0,025	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,648
1987	0,007	0,181	0,384	0,529	0,026	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,095
1988	0,002	0,076	1,050	1,092	0,492	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,227
1989	0,095	0,001	0,205	2,594	2,307	1,133	0,235	0,000	0,000	0,000	0,001	0,168	0,562
Parâmetros estatísticos													
Media	0,074	0,233	0,819	1,296	1,130	0,551	0,194	0,029	0,007	0,019	0,014	0,057	0,369
Desvio Padrão (S)	0,195	0,398	0,948	1,489	1,511	1,040	0,521	0,107	0,024	0,055	0,047	0,305	0,430

ANEXO 2 - Série fluviométrica média mensal do açude Camalaú (m³/s)

Vazões Média Mensais (m³/s)													
Ano / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Q
1935	0,083	0,480	1,321	3,225	1,601	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,561
1936	0,132	0,475	0,028	0,014	0,044	0,155	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,071
1937	0,000	0,008	0,051	2,486	1,515	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,345
1938	0,003	0,017	0,008	0,574	0,213	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,068
1939	0,005	0,051	0,411	0,003	0,002	0,038	0,002	0,000	0,005	0,129	0,120	0,017	0,065
1940	0,055	0,238	1,405	1,541	1,127	0,199	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,381
1941	0,000	0,000	1,833	0,141	0,015	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167
1942	0,000	0,058	0,003	0,020	0,002	0,075	0,003	0,000	0,000	0,031	0,000	0,012	0,017
1943	0,025	0,135	0,129	0,190	0,014	0,003	0,029	0,012	0,000	0,000	0,002	0,002	0,045
1944	0,043	0,055	0,140	0,117	0,005	0,118	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,043
1945	0,044	0,032	0,018	0,161	3,072	1,495	0,141	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,414
1946	0,005	0,000	0,035	0,232	0,394	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	0,112	0,000	0,085
1947	0,015	0,002	1,462	3,682	2,173	0,109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,279	0,121	0,654
1948	0,000	0,086	2,258	1,836	0,635	0,012	0,005	0,028	0,000	0,000	0,000	0,002	0,405
1949	0,000	0,253	0,158	0,023	0,067	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,327	1,423	0,189
1950	0,000	0,000	0,087	1,206	1,046	0,000	0,008	0,000	0,000	0,040	0,000	0,003	0,199
1951	0,000	0,000	0,005	0,038	0,181	0,092	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,043	0,030
1952	0,000	0,021	0,253	0,009	0,044	0,017	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,043	0,033
1953	0,000	0,009	0,038	0,008	0,000	0,213	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,023
1954	0,000	0,290	0,112	0,227	0,160	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,015	0,070
1955	0,140	0,172	1,317	0,167	0,124	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,021	0,162
1956	0,002	0,146	0,109	0,357	0,021	0,115	0,002	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064
1957	0,049	0,000	2,182	5,751	3,077	0,416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,957
1958	0,000	0,008	0,229	1,130	0,021	0,002	0,038	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,119
1959	0,025	0,721	1,716	0,012	0,000	0,055	0,000	0,021	0,006	0,000	0,012	0,000	0,214
1960	0,000	0,006	3,451	5,403	2,463	0,262	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,966
1961	0,173	0,094	0,569	2,899	1,333	0,011	0,113	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,433
1962	0,015	0,031	0,337	0,090	0,276	0,009	0,012	0,000	0,000	0,005	0,000	0,003	0,065
1963	0,012	0,390	1,551	1,284	0,074	0,032	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,330	0,307
1964	0,388	0,221	1,020	0,258	0,601	0,115	0,149	0,006	0,003	0,000	0,009	0,028	0,233
1965	0,518	0,077	0,288	4,256	4,129	2,126	1,037	0,003	0,000	0,002	0,000	0,037	1,039
1966	0,000	1,929	0,400	0,379	0,023	0,244	0,018	0,066	0,002	0,000	0,308	1,187	0,380
1967	0,000	0,190	0,440	1,969	5,414	2,857	0,342	0,002	0,000	0,000	0,000	0,028	0,937
1968	0,046	0,250	3,370	3,831	5,595	4,936	2,063	0,020	0,002	0,000	0,000	0,000	1,676
1969	0,514	0,626	4,753	6,110	3,012	0,667	0,610	0,089	0,009	0,002	0,000	0,000	1,366
1970	0,736	0,561	0,537	0,066	0,317	0,017	0,103	0,011	0,000	0,021	0,006	0,000	0,198
1971	0,014	0,002	0,132	0,928	2,066	1,400	0,009	0,038	0,000	0,110	0,000	0,000	0,392
1972	0,000	0,548	0,327	0,031	0,104	0,221	0,061	0,255	0,310	0,000	0,000	0,652	0,209
1973	0,232	0,028	0,308	1,733	4,124	1,794	0,080	0,006	0,003	0,000	0,000	0,000	0,692
1974	2,391	6,078	5,017	7,170	6,971	4,452	2,064	0,031	0,000	0,000	0,262	0,002	2,870
1975	0,009	0,015	0,488	0,966	4,423	2,251	2,707	1,327	0,011	0,000	0,000	0,259	1,038
1976	0,031	0,190	0,333	3,344	0,538	0,037	0,005	0,000	0,006	0,008	0,000	0,011	0,375
1977	0,270	0,239	0,867	1,186	5,727	3,436	1,919	0,313	0,002	0,000	0,000	0,002	1,163
1978	0,000	0,094	2,058	2,478	2,225	0,351	0,252	0,048	0,003	0,000	0,005	0,011	0,627
1979	0,041	0,992	1,482	0,799	1,179	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
1980	0,000	0,270	1,310	0,436	0,000	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,173
1981	0,002	0,000	2,120	5,439	1,705	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,021	0,775
1982	0,000	0,086	0,000	0,219	2,067	0,193	0,000	0,003	0,000	0,009	0,000	0,000	0,215
1983	0,021	1,222	0,043	0,012	0,000	0,089	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,116
1984	0,002	0,051	0,067	4,906	6,491	4,863	2,067	0,107	0,003	0,002	0,000	0,000	1,547
1985	0,146	3,133	5,638	32,970	13,115	7,623	4,995	1,370	0,153	0,000	0,000	0,005	5,762
1986	0,000	1,451	2,641	2,822	1,537	0,031	0,081	0,018	0,002	0,002	0,003	0,002	0,716
1987	0,002	0,606	0,167	0,472	0,000	0,014	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,107
1988	0,012	0,044	0,724	0,264	0,225	0,002	0,015	0,000	0,002	0,000	0,006	0,005	0,108
1989	0,000	0,009	0,475	3,871	2,939	0,811	0,075	0,000	0,003	0,000	0,008	0,302	0,708
Parâmetros estatísticos													
Media	0,113	0,413	1,022	2,177	1,713	0,771	0,347	0,069	0,010	0,007	0,027	0,084	0,563
Desvio Padrão (S)	0,346	0,951	1,332	4,645	2,459	1,564	0,901	0,257	0,046	0,023	0,079	0,264	0,887

ANEXO 3 - Série fluviométrica média mensal do açude Cordeiro (m³/s)

Ano / Mês	Vazões Média Mensais (m³/s)												Q
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1935	0,035	2,133	1,677	0,370	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,355
1936	0,198	2,123	0,370	0,000	0,000	1,023	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,311
1937	0,005	0,035	0,355	9,078	3,034	0,086	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,050
1938	0,076	0,228	0,086	3,647	2,614	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,559
1939	0,035	0,537	0,258	0,000	0,015	0,101	0,020	0,000	0,015	0,502	0,659	0,101	0,187
1940	0,638	1,955	4,655	3,181	2,320	1,641	0,030	0,020	0,091	0,000	0,000	0,005	1,211
1941	0,000	0,010	3,328	0,415	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,324
1942	0,000	0,577	0,000	0,101	0,030	0,861	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,157	0,149
1943	0,091	0,274	0,552	1,651	0,086	0,010	0,187	0,208	0,000	0,000	0,035	0,010	0,259
1944	0,522	0,355	0,355	0,172	0,076	0,147	0,056	0,005	0,010	0,000	0,000	0,041	0,145
1945	0,046	0,137	0,091	0,699	7,902	2,553	0,684	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,009
1946	0,000	0,000	0,258	0,385	1,814	0,471	0,000	0,000	0,000	0,000	0,583	0,000	0,293
1947	0,030	0,000	6,327	5,532	0,081	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,413	1,413	1,233
1948	0,015	0,957	6,758	1,905	0,142	0,147	0,071	0,456	0,000	0,010	0,000	0,000	0,872
1949	0,000	2,031	1,018	0,339	1,165	0,132	0,015	0,000	0,000	0,000	1,180	3,293	0,764
1950	0,005	0,000	0,628	5,187	3,511	0,000	0,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,792
1951	0,010	0,000	0,020	0,117	1,256	0,623	0,005	0,000	0,000	0,025	0,000	0,420	0,206
1952	0,000	0,152	0,962	0,035	0,000	0,263	0,030	0,061	0,005	0,000	0,041	0,101	0,138
1953	0,000	0,046	0,380	0,203	0,000	0,922	0,005	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,131
1954	0,000	2,087	0,350	1,059	0,243	0,182	0,101	0,000	0,000	0,000	0,035	0,228	0,357
1955	0,659	0,805	5,400	0,577	2,442	0,030	0,005	0,000	0,025	0,005	0,000	0,035	0,832
1956	0,035	0,198	0,471	1,439	0,046	0,299	0,015	0,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,224
1957	0,025	0,000	8,141	19,341	8,840	0,496	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	3,075
1958	0,000	0,106	1,180	5,294	0,132	0,000	0,415	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,594
1959	0,263	2,052	8,434	0,071	0,000	0,056	0,000	0,375	0,000	0,000	0,177	0,000	0,952
1960	0,000	0,086	10,385	17,684	7,654	0,978	0,213	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,083
1961	0,456	0,390	2,290	8,551	2,513	0,000	0,714	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,243
1962	0,051	0,137	0,466	1,732	1,003	0,020	0,547	0,000	0,000	0,000	0,010	0,152	0,343
1963	0,203	0,268	3,338	2,123	0,076	0,127	0,426	0,000	0,000	0,000	0,000	1,540	0,675
1964	6,195	0,790	3,267	0,765	1,069	0,410	1,241	0,198	0,015	0,000	0,025	0,000	1,165
1965	0,466	0,000	1,089	16,266	18,591	15,349	13,282	3,014	0,000	0,015	0,000	0,025	5,675
1966	0,025	5,147	1,525	3,065	3,561	1,839	1,621	0,274	0,000	0,000	0,329	0,279	1,472
1967	0,000	0,279	3,541	13,687	16,661	8,612	2,209	0,005	0,000	0,000	0,000	0,081	3,756
1968	0,127	0,167	5,734	5,755	5,354	2,300	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,623
1969	0,142	0,238	6,991	6,930	1,266	0,223	1,484	0,279	0,010	0,000	0,000	0,000	1,464
1970	0,456	0,051	2,705	0,137	0,111	0,096	0,719	0,233	0,000	0,030	0,000	0,005	0,379
1971	0,041	0,086	0,816	6,074	5,511	2,047	0,086	0,370	0,309	0,000	0,000	0,000	1,278
1972	0,000	0,122	0,466	1,054	0,213	2,705	0,076	0,294	0,056	0,000	0,000	0,451	0,453
1973	0,005	0,025	0,618	0,892	1,580	0,071	0,339	0,005	0,111	0,015	0,000	0,000	0,305
1974	1,292	5,841	7,330	16,803	15,774	8,399	4,458	0,056	0,000	0,000	0,081	0,035	5,006
1975	0,000	0,106	0,395	0,790	6,307	2,958	2,604	0,826	0,025	0,000	0,000	0,182	1,183
1976	0,005	1,555	0,344	5,739	0,983	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,720
1977	0,537	0,350	0,983	3,146	7,953	8,308	10,466	4,671	0,000	0,081	0,000	0,005	3,042
1978	0,000	0,294	5,056	1,195	0,223	0,127	0,294	0,187	0,005	0,005	0,000	0,005	0,616
1979	0,066	0,081	0,167	0,420	5,162	1,464	0,071	0,000	0,005	0,000	0,015	0,000	0,621
1980	0,005	0,598	2,047	0,015	0,000	0,740	0,025	0,000	0,000	0,010	0,015	0,000	0,288
1981	0,046	0,000	5,638	17,623	6,226	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,010	2,475
1982	0,000	0,127	0,005	0,466	3,759	0,203	0,020	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,383
1983	0,035	0,927	0,350	0,127	0,015	0,238	0,005	0,101	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
1984	0,010	0,000	0,208	18,748	21,478	15,987	9,356	1,915	0,030	0,000	0,000	0,000	5,644
1985	0,203	5,025	10,187	29,705	32,532	23,905	18,312	8,591	0,350	0,000	0,000	0,066	10,740
1986	0,000	1,271	7,391	10,815	9,995	2,867	0,223	0,056	0,000	0,000	0,000	0,000	2,718
1987	0,015	0,035	0,527	1,484	0,005	0,035	0,988	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,259
1988	0,005	0,228	2,239	1,459	1,104	0,066	0,304	0,000	0,000	0,000	0,000	0,410	0,485
1989	0,147	0,000	0,334	9,675	11,692	6,484	0,770	0,005	0,000	0,015	0,233	0,239	3,239
Parâmetros estatísticos													
Media	0,240	0,746	2,518	4,795	4,077	2,179	1,427	0,421	0,019	0,013	0,084	0,171	1,391
Desvio Padrão (S)	0,852	1,291	2,938	6,631	6,424	4,634	3,550	1,367	0,064	0,068	0,270	0,518	1,877

ANEXO 4-Série fluviométrica média mensal do açude Epitácio Pessoa (m³/s)

Vazões Média Mensais (m³/s)													
Ano / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Q
1935	0,762	4,854	17,026	61,572	41,395	7,471	0,203	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,107
1936	1,347	9,453	0,229	0,000	0,076	8,614	14,103	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,819
1937	0,000	0,051	0,178	31,942	22,515	3,532	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,854
1938	0,000	0,000	0,102	6,378	2,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,733
1939	0,000	0,000	4,472	0,203	0,025	11,384	1,398	0,000	0,000	4,549	0,584	0,000	1,885
1940	0,407	1,855	7,674	5,286	25,894	17,076	0,407	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,883
1941	0,000	0,051	37,355	1,957	0,102	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,291
1942	0,000	0,025	0,025	0,483	0,381	0,610	0,254	0,000	0,000	0,000	0,000	0,254	0,169
1943	0,051	2,033	0,254	0,152	0,025	0,152	0,737	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,284
1944	0,280	0,025	1,144	14,053	0,152	0,000	0,356	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,334
1945	0,025	2,541	0,000	0,991	34,128	18,881	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,330	4,746
1946	0,102	0,127	0,788	0,661	0,102	0,229	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167
1947	0,025	0,025	11,308	47,291	28,334	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,152	0,000	7,274
1948	0,000	0,025	26,453	9,656	3,481	0,051	0,813	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,373
1949	0,000	0,000	0,000	1,220	2,922	2,617	0,025	0,000	0,000	0,000	1,728	1,067	0,798
1950	0,025	0,000	0,330	4,295	1,931	0,229	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,568
1951	0,000	0,635	0,000	2,084	0,864	2,338	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,493
1952	0,000	0,000	5,133	0,330	0,000	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,051	0,472
1953	0,000	0,025	0,025	0,432	0,025	0,915	0,000	0,000	0,000	0,000	1,677	2,592	0,474
1954	0,000	0,178	0,025	0,330	0,915	2,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,305
1955	1,525	1,271	1,652	25,818	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,529
1956	0,000	0,610	0,534	1,067	0,254	3,888	8,284	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,220
1957	0,051	0,000	20,685	25,793	0,864	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,952
1958	0,000	0,584	0,203	0,152	3,431	0,000	0,229	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,383
1959	0,000	0,356	0,966	0,025	1,016	1,347	0,712	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,369
1960	0,000	0,330	42,590	63,274	17,661	0,051	0,534	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,370
1961	2,643	0,534	3,837	25,767	0,584	0,000	0,254	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,802
1962	0,076	0,000	0,305	0,712	0,483	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,136
1963	0,000	0,025	11,689	0,534	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,532	1,315
1964	4,345	2,338	0,991	0,915	2,363	2,363	8,691	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,834
1965	0,254	0,000	1,042	36,567	41,903	16,238	2,516	0,000	0,000	0,000	0,000	0,051	8,214
1966	0,000	4,574	0,000	15,069	2,389	2,084	0,280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,033
1967	0,000	0,661	2,795	21,828	18,042	0,127	0,254	0,000	0,000	0,000	0,000	0,102	3,651
1968	0,356	0,000	13,595	6,429	25,234	0,762	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,865
1969	1,652	0,000	4,523	8,640	0,102	1,194	2,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,516
1970	2,058	0,000	0,559	0,966	1,474	0,025	3,253	0,356	0,000	0,025	0,000	0,000	0,726
1971	0,000	0,000	0,508	29,249	22,184	3,303	0,076	0,127	0,000	0,000	0,000	0,000	4,621
1972	0,000	0,025	2,948	0,381	0,788	0,127	0,152	1,321	0,229	0,000	0,000	3,049	0,752
1973	0,000	0,076	0,813	10,088	21,142	0,076	0,203	0,000	0,000	0,229	0,000	0,000	2,719
1974	5,159	2,617	19,973	40,175	51,433	23,861	3,735	0,000	0,000	0,000	0,000	0,076	12,252
1975	0,000	0,661	12,579	3,659	13,341	0,025	5,387	0,000	0,000	0,000	0,000	3,685	3,278
1976	0,000	3,024	0,432	8,691	0,991	0,025	0,000	0,000	0,000	1,220	0,000	0,000	1,199
1977	1,448	0,000	0,102	31,053	76,666	44,013	35,957	5,082	0,051	0,000	0,000	0,000	16,198
1978	0,000	2,541	39,896	11,257	12,934	1,118	0,407	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,679
1979	0,000	0,229	0,025	1,296	4,879	0,025	0,661	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,593
1980	0,051	2,617	1,194	0,025	0,000	0,889	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,398
1981	0,940	0,432	38,320	77,886	17,407	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,280	11,274
1982	0,000	0,000	0,000	3,202	10,419	0,229	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,154
1983	0,000	4,574	0,432	0,229	0,152	0,076	0,000	0,203	0,000	0,000	0,000	0,000	0,472
1984	0,000	0,000	4,422	30,087	15,679	1,753	1,042	0,356	0,000	0,000	0,000	0,000	4,445
1985	0,152	31,027	62,512	118,265	120,526	64,037	24,979	0,330	0,000	0,000	0,000	0,000	35,152
1986	0,229	8,487	37,507	26,580	3,253	0,076	1,194	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	6,457
1987	0,000	0,000	8,742	2,719	0,000	0,025	0,127	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,968
1988	0,000	1,601	10,393	5,489	1,931	0,076	0,610	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,675
1989	0,000	0,000	0,737	40,811	28,029	0,432	4,472	0,000	0,025	0,000	0,000	3,253	6,480
Parâmetros estatísticos													
Media	0,436	1,656	8,364	15,709	12,422	4,454	2,263	0,144	0,006	0,110	0,075	0,333	3,831
Desvio Padrão (S)	1,030	4,502	13,966	23,236	21,636	11,192	6,192	0,705	0,032	0,632	0,329	0,942	5,581

ANEXO 5 - Série fluviométrica média mensal do açude Acauã (m³/s)

Vazões Média Mensais (m³/s)													
Ano / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Q
1935	0,000	0,439	1,913	11,293	8,105	7,595	18,321	5,781	0,000	0,000	0,000	0,000	4,454
1936	0,000	10,485	2,380	0,000	0,694	12,993	44,223	18,151	0,142	0,000	0,000	0,000	7,422
1937	0,000	0,057	0,000	6,447	0,893	8,969	11,874	1,431	0,000	0,000	0,000	0,000	2,473
1938	0,000	0,085	0,085	1,318	0,623	0,751	0,000	0,213	0,028	0,000	0,000	0,000	0,259
1939	0,000	0,000	1,644	0,482	0,128	10,160	3,486	5,101	0,000	1,119	0,368	0,000	1,874
1940	0,014	0,864	2,522	1,686	14,750	36,104	30,960	16,763	0,609	0,000	0,000	0,000	8,689
1941	0,000	0,043	23,521	7,340	5,257	0,609	0,935	0,354	0,184	0,000	0,000	0,000	3,187
1942	0,000	0,000	0,057	0,850	9,706	10,840	2,820	1,516	0,000	0,000	0,000	0,028	2,151
1943	0,000	2,522	0,298	1,445	0,595	1,105	14,481	5,285	0,170	0,000	0,000	0,028	2,161
1944	0,170	0,000	0,609	9,068	2,636	1,162	3,387	1,516	0,000	0,000	0,000	0,000	1,546
1945	0,000	0,298	0,000	0,000	5,852	22,558	24,868	9,692	0,000	0,000	0,000	0,000	5,272
1946	0,439	0,000	0,354	0,312	0,949	2,820	0,666	0,496	0,000	0,000	0,000	0,028	0,505
1947	0,071	0,057	0,949	18,959	25,562	13,957	6,660	0,014	0,000	0,000	0,014	0,000	5,520
1948	0,014	0,000	2,522	0,071	5,569	2,721	17,868	9,734	0,057	0,000	0,028	0,000	3,215
1949	0,014	0,184	0,000	0,468	3,160	10,670	3,443	0,227	0,000	0,000	0,623	0,964	1,646
1950	0,000	0,000	0,907	5,271	11,236	3,783	0,510	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	1,810
1951	0,000	0,000	0,014	0,028	0,326	0,453	24,839	32,987	9,281	0,000	0,000	0,028	5,663
1952	0,000	0,000	0,255	0,000	0,043	0,425	0,666	0,014	0,000	0,014	0,000	1,516	0,244
1953	0,000	0,000	0,099	1,049	0,312	9,777	11,662	2,380	0,000	0,000	0,128	0,028	2,120
1954	0,000	0,000	0,000	1,049	6,886	14,127	3,188	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,104
1955	0,000	0,000	2,366	1,828	1,516	0,071	0,099	0,057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,495
1956	0,000	0,099	0,000	12,030	0,921	2,806	15,586	2,310	0,000	0,000	0,000	0,000	2,813
1957	0,014	0,000	2,154	2,494	0,383	0,043	0,992	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,508
1958	0,000	0,000	0,000	0,099	0,652	1,544	2,480	0,269	0,043	0,000	0,000	0,000	0,424
1959	0,000	0,198	0,028	0,411	0,723	3,344	17,003	8,473	0,014	0,000	0,000	0,000	2,516
1960	0,000	0,000	3,868	4,081	0,099	0,383	3,868	3,330	0,000	0,000	0,000	0,000	1,302
1961	4,166	1,289	1,573	3,202	0,581	1,261	1,899	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	1,173
1962	0,000	0,000	0,368	0,028	2,947	4,279	4,223	0,000	0,128	0,000	0,000	0,014	0,999
1963	0,028	0,000	0,779	0,652	0,142	0,326	1,629	0,000	0,000	0,000	0,099	1,955	0,468
1964	9,919	5,696	2,551	2,097	0,581	5,101	22,827	10,840	0,142	0,000	0,000	0,000	4,980
1965	0,057	0,000	0,000	2,295	4,223	4,534	6,107	0,014	0,000	0,000	0,000	0,071	1,442
1966	0,014	0,935	0,000	3,273	0,255	9,494	20,943	19,214	0,737	0,000	0,028	0,000	4,574
1967	0,000	0,014	0,113	8,133	0,850	2,664	2,253	0,269	0,000	0,000	0,000	0,085	1,198
1968	0,156	0,014	0,723	0,595	8,913	0,864	0,411	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,973
1969	0,213	0,000	2,834	4,676	2,621	7,637	25,845	17,769	0,241	0,000	0,000	0,000	5,153
1970	0,099	0,000	0,510	1,034	2,380	3,046	4,818	13,589	0,283	0,000	0,000	0,000	2,147
1971	0,000	0,000	0,043	7,977	7,340	1,814	0,893	2,055	0,014	0,000	0,000	0,000	1,678
1972	0,000	0,000	0,638	0,496	4,152	2,267	0,227	2,451	2,338	0,000	0,000	0,028	1,050
1973	0,028	0,043	0,128	2,579	9,239	0,978	1,502	0,113	0,000	0,028	0,000	0,014	1,221
1974	0,949	0,170	3,882	11,817	18,109	10,004	13,914	3,075	0,213	0,000	0,000	0,000	5,178
1975	0,000	0,000	0,822	0,808	1,686	1,658	20,843	14,892	0,241	0,000	0,000	0,227	3,431
1976	0,000	0,028	0,071	2,565	2,423	4,988	1,644	0,822	0,000	1,304	0,000	0,014	1,155
1977	0,170	0,000	0,014	4,619	22,643	11,775	27,305	18,335	1,077	0,000	0,000	0,000	7,162
1978	0,000	0,298	10,301	4,421	5,200	0,751	1,233	3,259	0,057	0,014	0,000	0,000	2,128
1979	0,014	0,000	0,269	0,057	1,289	1,615	3,117	0,000	0,510	0,000	0,000	0,000	0,573
1980	0,000	0,128	0,879	0,482	0,567	4,563	0,028	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,555
1981	0,057	0,057	17,783	33,100	4,548	0,057	0,283	0,000	0,000	0,000	0,014	0,312	4,684
1982	0,000	0,198	0,014	0,822	2,735	1,771	1,955	0,128	0,000	0,000	0,000	0,000	0,635
1983	0,000	0,043	0,014	0,142	1,148	0,694	0,439	0,850	0,000	0,000	0,000	0,000	0,278
1984	0,043	0,000	1,700	9,720	10,712	12,682	9,380	3,840	1,715	0,000	0,000	0,000	4,149
1985	0,000	8,275	15,955	43,614	48,417	27,050	23,224	15,827	0,283	0,000	0,000	0,000	15,220
1986	0,057	1,020	1,856	3,882	0,198	2,721	4,492	3,174	0,014	0,000	0,000	0,000	1,451
1987	0,000	0,000	0,411	4,010	0,000	0,935	0,723	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,507
1988	0,028	0,368	6,830	8,275	7,609	0,468	4,974	2,281	0,028	0,000	0,000	0,000	2,572
1989	0,000	0,000	0,283	14,821	17,584	10,641	17,669	7,014	0,510	0,000	0,000	0,085	5,717
Parâmetros estatísticos													
Media	0,304	0,617	2,144	4,883	5,396	6,196	9,052	4,406	0,178	0,045	0,024	0,099	2,779
Desvio Padrão (S)	1,440	1,931	4,551	7,881	8,312	7,520	10,548	5,951	0,424	0,229	0,098	0,352	2,682