

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
MESTRADO EM GESTÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE

MODELO MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO APLICADO AO
USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS:
ESTUDO DA BARRAGEM DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE

CÍNTIA DE LIMA VILAS BOAS

BRASÍLIA/DF
NOVEMBRO/2006

CÍNTIA DE LIMA VILAS BOAS

**MODELO MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO APLICADO AO
USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS:
ESTUDO DA BARRAGEM DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

Dissertação apresentada ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia - Gestão Econômica do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira

BRASÍLIA/DF

NOVEMBRO /2006.

CÍNTIA DE LIMA VILAS BOAS

***“Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado
ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do
ribeirão João Leite”***

Dissertação aprovada como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Gestão Econômica do Meio Ambiente** do Programa de Pós-Graduação em Economia – Departamento de Economia da Universidade de Brasília, por intermédio do Centro de Estudos em Economia, Meio Ambiente e Agricultura (CEEMA). Comissão Examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira
Departamento de Economia – UnB

Prof. Dr. Ivan Ricardo Gartner
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC/SP

Prof. Dr. Ricardo Coelho de Faria
Universidade Católica de Brasília – UCB

Brasília, 07 de novembro de 2006.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira, pelas sábias sugestões e pela atenção dedicada.

A minha querida mãe, Irtis, pelo incansável apoio, compreensão e incentivo ao meu aperfeiçoamento técnico-profissional.

Ao meu marido, Walber, pelo constante estímulo, paciência e ajuda na superação dos obstáculos.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, por ter investido na minha capacitação profissional, custeando o pagamento das mensalidades do curso de mestrado.

A todos os colegas de trabalho, especialmente, à geóloga Maria Abadia Camargo e ao engenheiro José Mário da Silva, pelo apoio e contribuições.

Ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, principalmente ao engenheiro Marcos Antônio Correntino da Cunha, incansável colaborador.

À InfoHarvest Inc., por ter disponibilizado a versão gratuita do programa *Criterion Decision Plus*.

RESUMO

O objetivo desta dissertação é desenvolver um modelo de Análise de Decisão para facilitar o processo de escolha de alternativas de políticas, programas e projetos relacionados à gestão de recursos hídricos e, mais especificamente, ao uso múltiplo de reservatórios. Para tanto, é realizado um estudo de caso onde, com a utilização do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), é desenvolvido um modelo multicritérios de análise de decisão para auxiliar os tomadores de decisão nas questões inerentes ao uso multipropósito da água.

A implantação de reservatórios tem sido utilizada como uma importante ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos. No entanto, existem muitas dificuldades para avaliar as conseqüências dos seus potenciais usos. Essas dificuldades estão inseridas em contextos decisórios que envolvem vários atores com diferentes percepções, valores, objetivos e relações de poder. Isto torna a escolha de alternativas de políticas, programas e projetos ambientais, um processo de decisão complexo, marcado pelo conflito de interesses.

Surge, portanto, a necessidade da aplicação de abordagens que também permitam a agregação de variáveis intangíveis monetariamente e a consulta às populações afetadas. Dentre os métodos multicritérios de análise de decisão disponíveis, optou-se pelo uso do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para realizar um estudo de caso, tendo como objeto o uso múltiplo do reservatório ribeirão João Leite, em Goiás. Nele foram exploradas as preocupações dos principais atores envolvidos e efetuou-se a avaliação das opções sob diferentes perspectivas.

O modelo desenvolvido provê uma lista ordenada das alternativas de uso múltiplo possíveis de serem implantadas no reservatório. A alternativa de geração de energia hidrelétrica obteve a maior ordem de prioridade. A aplicação do AHP também evidenciou dificuldades com o uso da análise multicritérios. O método exige um grande número de comparações para estabelecer as preferências dos decisores, requer muita habilidade do facilitador para estruturar o modelo e analisar os julgamentos dos decisores e, principalmente, é necessário que os decisores estejam dispostos e comprometidos a participar de todo o processo.

Palavras-chave: AHP, métodos multicritérios, uso múltiplo, reservatórios.

ABSTRACT

This research develop a Decision Analysis model to support the decision makers in the choice process of the policies, programs and projects related to multiple use of water resources, and more specifically, related to multiple use of reservoirs. For this, a case study is carried through where, with the utilization of the *Analytic Hierarchy Process (AHP)* method, a multicriterion decision analysis model is developed to assist the decision makers in the optimization of the multipurpose use of the water.

The implantation of reservoirs has been used as an important tool in the management of water resources. However, many difficulties exist to evaluate the consequences of the potential uses. This difficulties are inserted in decide contexts that involve many actors with different perceptions, values, goals e power relations. This becomes the choice of alternatives of environmental policies, programs and projects, a complex decision process, marked for the conflict of interests.

The need for an application of flexible approaches arises. Theses approaches allow the aggregation of monetary intangible variables and the consultation of affected people. Among the available multicriteria methods of decision analysis, it was chosen the *Analytic Hierarchy Process (AHP)* to develop a case study, having as object the multiple use of the reservoir João Leite River, in Goiás. It had been explored the main concerns of the involved actors and it effected evaluation of the options under different perspectives.

The developed model to provide a ranking of the possible alternatives of multiple uses that can to be implanted in the reservoir. The better score was attributed for the alternative of hydroelectric energy generation. The application of AHP method also had evidenced difficulties with the use of multicriteria analysis. The method demands a great number of comparisons to establish the preferences of decision makers, it requires ability of the analyst to structuralize the model and to analyze the judgments of the decision makers, and mainly, it is also essential that decision makers are compromised to participate of the all process.

Keywords: AHP, multicriteria methods, multiple use, reservoir.

SUMÁRIO

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Sumário.....	vii
Lista de figuras.....	ix
Lista de quadros.....	x
Lista de abreviaturas.....	xi
Lista de apêndices.....	xii
Lista de anexos.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Materiais e métodos.....	2
1.2 Estrutura da dissertação.....	3
2 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE ANÁLISE DE DECISÃO.....	5
2.1 Aspectos qualitativos e quantitativos na escolha de alternativas.....	5
2.2 Processo de decisão.....	7
2.3 Características gerais dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão.....	8
2.4 Execução da análise multicritérios.....	10
2.5 Principais Métodos Multicritérios de Análise de Decisão.....	16
2.6 Análise crítica dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão.....	20
3 O USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS.....	23
3.1 Uso múltiplo de recursos hídricos.....	23
3.2 Reservatórios.....	26
3.3 Uso múltiplo de reservatórios.....	30
3.4 Panorama do uso múltiplo de reservatórios no Brasil.....	36
4 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS E USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS: A ESCOLHA DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	42
4.1 Seleção do método.....	42
4.2 <i>Analytic Hierarchy Process</i> – AHP.....	46
4.2.1 Aspectos gerais.....	46
4.2.2 Funcionamento.....	47
4.2.3 Aplicações em situações reais.....	56
4.3 Aspectos robustos e frágeis do AHP.....	60
4.4 Avaliação geral do AHP.....	62
4.5 Suporte computacional.....	63

5 ESTUDO DE CASO: USO MÚLTIPLO DO RESERVATÓRIO DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE.....	66
5.1 Modelo de processo decisório de problemas multicritérios.....	66
5.2 Fase de estruturação: construção de um modelo multicritérios de apoio à decisão para o uso múltiplo de reservatórios.....	67
5.2.1 Identificação do problema real.....	67
5.2.2 Definição do contexto decisório.....	69
5.2.3 Identificação dos objetivos.....	76
5.2.4 Identificação das alternativas e critérios de avaliação.....	76
5.3 Fase de Avaliação: análise das ações potenciais.....	80
5.3.1 Determinação dos pesos relativos dos critérios.....	80
5.3.2 Determinação dos níveis de preferências das alternativas.....	82
5.3.3 Síntese dos resultados.....	83
5.3.4 Exame dos resultados.....	84
5.3.5 Análise de sensibilidade.....	87
5.4 Considerações finais.....	90
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
APÊNDICES.....	115
ANEXOS.....	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Sistema de tomada de decisão.....	8
Figura 2 -	Etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão.....	12
Figura 3 -	Fases de aplicação dos Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão...	13
Figura 4 -	Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese....	15
Figura 5 -	Fluxo de processamento dos modelos <i>outranking</i>	15
Figura 6 -	Fluxograma geral do AHP.....	17
Figura 7 -	Fluxograma do processo interativo do MACBETH.....	18
Figura 8 -	Roteiro conceitual básico para o planejamento do uso múltiplo de reservatórios.....	33
Figura 9 -	Estrutura de decisão sobre a operação de reservatórios.....	34
Figura 10 -	Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão.....	48
Figura 11 -	Etapas de execução do AHP.....	56
Figura 12 -	Estrutura hierárquica do modelo.....	80
Figura 13 -	Prioridades das alternativas de uso do reservatório João Leite.....	84
Figura 14 -	Preferências de uso do reservatório do João Leite de acordo com os critérios de avaliação.....	86
Figura 15 -	Prioridades das alternativas de uso do reservatório João Leite após exclusão da opção “abastecimento”.....	87
Figura 16 -	Prioridades das alternativas considerando os pesos dos critérios.....	89
Figura 17 -	Preferências de uso do reservatório João Leite de acordo com os critérios de avaliação.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Impactos causados pela construção e operação de reservatórios....	28
Quadro 2 -	Usos múltiplos de reservatórios viáveis às bacias hidrográficas brasileiras.....	31
Quadro 3 -	Usos de reservatórios no Brasil.....	39
Quadro 4 -	Tipos de problemas de decisão.....	43
Quadro 5 -	Métodos multicritérios adequados a cada tipo de problema de decisão.....	43
Quadro 6 -	Comparação teórica entre métodos de análise de decisão.....	44
Quadro 7 -	Matriz de comparações par a par.....	49
Quadro 8 -	Escala Fundamental de Saaty para comparação par a par.....	50
Quadro 9 -	Valores da consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz.....	51
Quadro 10 -	Processo de execução do AHP.....	53
Quadro 11 -	Rotinas para tomada de decisão com o apoio do AHP.....	54
Quadro 12 -	Emprego do método AHP em situações reais.....	57
Quadro 13 -	Aplicações práticas do AHP em instituições públicas e privadas.....	58
Quadro 14 -	Aspectos positivos e negativos do AHP.....	61
Quadro 15 -	Composição do contexto decisório.....	69
Quadro 16 -	Problemas que afetam a qualidade ambiental da bacia do ribeirão João Leite.....	71
Quadro 17 -	Impactos provocados no meio físico pela implantação, enchimento e operação do reservatório João Leite.....	73
Quadro 18 -	Impactos provocados no meio biótico pela implantação e enchimento do reservatório João Leite.....	74
Quadro 19 -	Impactos provocados no meio antrópico pela implantação e enchimento do reservatório João Leite.....	75
Quadro 20 -	Critérios para avaliação das alternativas de uso de reservatórios...	77
Quadro 21 -	Relação entre as escalas do AHP e do <i>Criterion Decision Plus</i>	80
Quadro 22 -	Valores da Razão de Consistência para as comparações das alternativas em relação aos critérios de avaliação.....	82
Quadro 23 -	Valores da Razão de Consistência para o julgamento das alternativas	83
Quadro 24 -	Contribuição dos critérios para a avaliação global das alternativas	85
Quadro 25 -	Sensibilidade dos critérios de avaliação a mudanças nos pesos.....	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACB - Análise Custo Benefício

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

CA - Índice de Consistência Aleatória

CMB - Comissão Mundial de Barragens

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

ELECTRE - *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A.

IC - Índice de Consistência

IGPA - Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia

MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

MMAD - Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

MODM - *Multi-Objective Decision Making*

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

PROMETEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*

RC - Razão de Consistência

SANEAGO - Empresa de Saneamento de Goiás

UCG - Universidade Católica de Goiás

UHE - Usina Hidrelétrica

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A -	Dados curriculares.....	116
APÊNDICE B -	Artigo apresentado oralmente no XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos realizado em novembro de 2006 em João Pessoa/PB e publicado integralmente nos anais do evento.....	117
APÊNDICE C -	Artigo publicado na internet.....	119
APÊNDICE D -	Artigo publicado na internet.....	121
APÊNDICE E -	Questionários enviados ao grupo de decisores.....	123
APÊNDICE F -	Pesos dos critérios de avaliação.....	131

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - Evolução histórica do aproveitamento da água no Brasil e em países desenvolvidos.....	133
ANEXO B - Características da barragem do ribeirão João Leite.....	134
ANEXO C - Fotos de várias etapas de construção da barragem do ribeirão João Leite e de sítios arqueológicos encontrados em sua área de influência.....	135
ANEXO D - Sítios arqueológicos encontrados na área de influência da barragem do ribeirão João Leite.....	137
ANEXO E - Processamento de dados no programa <i>Criterion Decision Plus</i>	138
ANEXO F - Representação gráfica da análise de sensibilidade do modelo.....	141

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver um modelo de Análise de Decisão que simplifique o processo de escolha de alternativas de políticas, programas e projetos relacionados à gestão de recursos hídricos e, mais especificamente, ao uso múltiplo de reservatórios. Para tanto, foi realizado um estudo de caso onde, com a utilização do método multicritérios de apoio à decisão *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, se desenvolveu um modelo de análise de decisão para o uso de reservatórios para diversos propósitos.

O crescimento econômico e o incremento da densidade populacional provocam a intensificação dos usos dos recursos hídricos, ocasionando o aumento das quantidades demandadas para os diferentes usos e o surgimento de novos tipos de utilizações. Isto tem motivado constantes conflitos entre os usuários. Para garantir a satisfação das necessidades humanas e os usos múltiplos das águas, o gerenciamento dos recursos hídricos tem utilizado uma importante ferramenta: a implantação de reservatórios (CRUZ e FABRIZY, 1995).

Reservatórios são, no entanto, sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, que provocam impactos ambientais, sociais, econômicos e culturais devido à alteração do funcionamento natural do sistema hídrico e ao aparecimento de conflitos relativos ao uso da água (PRADO, 2002). Surge, então, a necessidade de identificar e avaliar as causas e efeitos oriundos da utilização dos reservatórios para diversos fins. Todavia, existem muitas dificuldades em se analisar as conseqüências dos potenciais usos de lagos gerados pela construção de usinas hidrelétricas ou de reservatórios para abastecimento público.

Percebe-se que essas questões estão inseridas em contextos decisórios que envolvem vários atores com diferentes percepções, valores, objetivos e relações de poder. Isto torna a escolha de alternativas de políticas, programas e projetos ambientais, um processo de decisão complexo, marcado pelo conflito de interesses. Os decisores, por conseguinte, necessitam de ferramentas que os auxiliem na análise das opções.

Um instrumento de apoio bastante utilizado é a Análise Custo-Benefício (ACB) (GONÇALVES, 2001). Porém, esta ferramenta apresenta uma série de limitações conceituais e metodológicas. Sua aplicação, geralmente, é de difícil

compatibilidade com a avaliação ambiental, além de não atender às demandas da gestão dos recursos hídricos geradas pelo novo arcabouço institucional resultante da criação do atual Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e de alguns sistemas estaduais. Torna-se necessária, portanto, a aplicação de abordagens mais flexíveis, que também permitam a agregação de variáveis intangíveis monetariamente e a consulta às populações afetadas (GARTNER, 2001).

Os métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD) são instrumentos de análise econômica que possuem estas características. Por este motivo são utilizados como referencial teórico da dissertação. Como será destacado nas próximas páginas, entre os diversos modelos de MMAD, a presente dissertação aprofunda a análise de apenas um deles: o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Essa avaliação minuciosa ocorre não apenas pela revisão da literatura científica, mas também por meio de uma aplicação prática do AHP, detalhada na próxima seção.

1.1 Materiais e métodos

Para o desenvolvimento desta dissertação, optou-se pela realização de uma pesquisa aplicada. Iniciou-se a pesquisa pela revisão da literatura inerente ao uso múltiplo dos recursos hídricos e à análise multicritérios, a fim de subsidiar a elaboração do capítulo de moldura conceitual. Em seguida, a revisão bibliográfica foi mais aprofundada e focou os principais métodos multicritérios de análise de decisão. Dentre os MMAD avaliados, foi selecionado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para construção de um modelo que auxilie os tomadores de decisão nas questões relativas à inserção regional dos reservatórios existentes ou em construção, visando melhorias sociais, econômicas e ambientais, por meio do uso múltiplo dos lagos e da infra-estrutura dos empreendimentos.

Após consolidar os aspectos teóricos que fundamentam o trabalho, realizou-se estudo de caso, onde o método AHP foi utilizado na construção de um modelo de análise de decisão para o uso múltiplo do reservatório da barragem do ribeirão João Leite. Seguindo o procedimento descrito por Bana e Costa (1993) em Schmidt (1995), o desenvolvimento do modelo foi dividido em duas fases: estruturação e avaliação. No intuito de proporcionar maior clareza e confiabilidade ao processo, foi adotada como sistemática para execução destas fases uma combinação das rotinas

propostas por TIPEC (2005) com os passos de execução sugeridos por Dogson *et al.* (2001)¹.

Foram utilizadas como fontes de pesquisa: periódicos indexados, artigos e outras bases científicas e documentais. Os projetos e informações referentes à barragem foram obtidos junto a Companhia de Saneamento de Goiás (SANEAGO), e os demais dados foram encontrados na Proposta de Zoneamento da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ribeirão João Leite, em relatórios da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) e do Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia (IGPA) da Universidade Católica de Goiás² (UCG) e em outras bases documentais disponíveis.

Para obtenção dos elementos da estrutura hierárquica do estudo de caso, foram realizadas entrevistas, baseadas em questionários previamente testados, em conformidade com o método AHP. Foram entrevistados quatro engenheiros integrantes do grupo de decisores com o propósito de definir as potenciais alternativas de uso da barragem do ribeirão João Leite e os critérios de avaliação a serem utilizados. Com estes dados, foram elaborados questionários no intuito de identificar as preferências dos decisores em relação às alternativas, tendo como base o conjunto de critérios de avaliação. Estes questionários foram enviados a todos os componentes do grupo de decisores.

1.2 Estrutura da dissertação

Além desta introdução, a dissertação está estruturada em mais cinco capítulos. O segundo capítulo aborda os Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD). É feita uma breve explanação sobre o processo de decisão e são avaliados os aspectos qualitativos e quantitativos na escolha de alternativas. Em seguida procede-se um exame criterioso dos MMAD, apresentando suas características, todas as etapas para sua execução e os principais métodos disponíveis. Por último, faz-se uma análise crítica dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão.

¹ Todas as rotinas propostas por TIPEC (2005) e os passos de execução sugeridos por Dogson *et al.* (2001) são detalhados no capítulo 4.

² O IGPA elaborou um projeto ambiental referente ao levantamento e resgate do patrimônio cultural, arqueológico, pré-histórico e histórico da área afetada pelo reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite.

O terceiro capítulo discorre sobre o uso múltiplo de reservatórios. São tratadas questões como a alocação de água entre os diversos usos e usuários, os aspectos positivos e negativos do uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos, a implantação de reservatórios, os impactos causados e a sua utilização para diversos propósitos. Também são apresentados alguns exemplos ilustrativos de uso múltiplo no Brasil.

No quarto capítulo é feita a seleção do método multicritérios a ser empregado para construção do modelo proposto. Baseada em uma ampla pesquisa bibliográfica, desenvolve-se uma cautelosa análise das técnicas disponíveis e procede-se a escolha do método mais adequado ao estudo de caso. Elaborou-se também uma descrição detalhada das características, funcionamento e suportes computacionais que facilitam a execução do método escolhido.

O capítulo cinco apresenta o estudo de caso. Trata-se da proposta de uso múltiplo do reservatório da barragem do ribeirão João Leite. São aplicados os procedimentos inerentes à análise multicritérios e ao método selecionado, descritos nos capítulos anteriores, com o objetivo de desenvolver um modelo de análise de decisão para o uso de reservatórios para diversos propósitos.

O modelo construído apresentou como resultado uma lista das alternativas de uso de reservatórios, que foram classificadas em ordem decrescente de prioridade, de acordo com as preferências manifestadas pelo grupo de decisores. A maior ordem de prioridade foi atribuída à atividade de geração de energia hidrelétrica.

Finalmente, no sexto capítulo, são elaboradas algumas considerações sobre a análise multicritérios de apoio à decisão e, mais especificamente, sobre o método multicritérios empregado na pesquisa. Além disso, faz-se uma análise crítica dos resultados obtidos com a modelagem do problema de uso múltiplo de reservatórios e são apresentadas recomendações para futuros trabalhos.

2 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE ANÁLISE DE DECISÃO

2.1 Aspectos qualitativos e quantitativos na escolha de alternativas

A gestão do meio ambiente é um processo de tomada de decisões³ que deve explicitamente considerar a variável ambiental. Decisões relacionadas com o meio ambiente são complexas⁴, pois buscam alcançar objetivos tangíveis e/ou intangíveis, envolvem aspectos essencialmente quantitativos e/ou eminentemente qualitativos e são cercadas por significativos interesses em conflito. Tudo isso dificulta o processo de escolha de caminhos e o uso de instrumentos auxiliares na seleção de alternativas de políticas, programas e projetos ambientais.

Até a década de 1940, as decisões eram tomadas com auxílio de análises baseadas em princípios econômicos. Porém, a teoria econômica simplificava as situações reais; negligenciava os problemas das unidades microeconômicas básicas e não eram suficientemente conhecidas e divulgadas as vantagens do trabalho multidisciplinar. Eram necessárias, portanto, novas técnicas e modelos para criar condições de interpretar com mais precisão os problemas do mundo real e auxiliar no processo de tomada de decisão. No início dos anos 70, surgiram duas correntes científicas de análise da decisão⁵: a Escola Francesa e a Escola Americana⁶. Ambas consideram a necessidade de incorporar outros valores na análise, além dos econômicos e financeiros (SCHMIDT, 1995).

Em relação aos recursos hídricos, percebe-se que, até recentemente, as iniciativas para o seu planejamento e gestão se caracterizavam pelo uso de horizontes de análise de curto prazo, pela hegemonia técnico-institucional na tomada de decisões, pela setorização da gestão e pela relativa facilidade de

³ Decisão é um processo abrangente com início na percepção da necessidade de uma mudança.

⁴ Contextos decisórios que envolvem aspectos ambientais são complexos, devido ao envolvimento de diversos atores com distintas relações de poder, cada um com diferentes valores, percepções e objetivos (CHURCHILL, 1990 em NORONHA, 1998).

⁵ Segundo Bana e Costa (2006), os fundamentos teóricos da análise de decisão se baseiam na Teoria da Utilidade⁵, nos axiomas da preferência e na Teoria das Probabilidades. A Teoria da Utilidade provê uma estrutura metodológica para a avaliação das escolhas de alternativas feitas pelos indivíduos, firmas e organizações. A satisfação que os decisores obtêm ao selecionar uma alternativa específica é medida por uma função utilidade, que é uma representação matemática do sistema de preferências dos decisores⁵. Ao longo das últimas três décadas, a estrutura tradicional da Teoria da Utilidade foi adaptada para as decisões que envolvem múltiplos critérios, dando origem à Teoria da Utilidade Multi-atributo (DOUMPOS e ZOPOUNIDIS, 2006).

⁶ Baseada nos princípios axiomáticos da obra de von Neumann e Morgenstern (SCHMIDT, 1995).

financiamento de projetos públicos e privados. Neste contexto, a Análise Custo Benefício⁷ (ACB) era amplamente usada como instrumento auxiliar do processo de tomada de decisões (GONÇALVES, 2001).

No entanto, esta ferramenta demonstrou ser incapaz de produzir os resultados esperados, em função da crescente degradação ambiental e o conseqüente aumento das externalidades econômicas, dos prejuízos ao bem-estar social, da insatisfação popular, do aumento dos conflitos entre os diversos setores usuários da água e de uma sucessão de crises econômicas.

Após a percepção das deficiências do modelo de gestão tradicional, surgiram propostas de reestruturação. Foram criados o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e alguns sistemas estaduais, na tentativa de superar os problemas de gestão, por meio de uma ótica sistêmica e participativa. Algumas das demandas da gestão dos recursos hídricos, nesta nova estrutura institucional, são: planejamento estratégico, de longo prazo, que inclua a questão da sustentabilidade; participação pública no processo de tomada de decisão; e definição de instrumentos legais e financeiros que viabilizem as decisões tomadas. Ao enfrentar estas questões, a Análise Custo Benefício passa a apresentar uma série de limitações conceituais e metodológicas, tais como (GONÇALVES, 2001):

- dificuldade de incorporação de um critério de equidade adequado aos impactos incidentes sobre indivíduos;
- questões complexas relativas à distribuição de renda estão sempre presentes, explícita ou implicitamente;
- inadequada consideração de impactos ambientais, ou considerações incidentes em fatores não inclusos nos mercados convencionais;
- nem todos os custos e benefícios podem ser tratados em uma base comum de valoração;
- nos projetos e políticas públicas, a realização da análise e o julgamento de seu resultado têm, não raramente, a mesma origem (poder público), comprometendo a abrangência e a imparcialidade;
- o planejamento em macro escala é, geralmente, influenciado por critérios políticos, não contemplados na ACB;

⁷ A ACB possui sólidas raízes na Teoria Econômica do Bem-Estar Social (KOPP, KRUPNICK e TOMAN, 1997).

- existe tendência para monetizar os benefícios extramercado (tratamento objetivo), mas não os custos (tratamento subjetivo);
- deficiência na adoção de um tratamento sistemático para ponderação dos impactos.

As limitações da aplicação da ACB aumentam de acordo com a complexidade do problema focado, pois a questão ambiental: é de natureza multidisciplinar; envolve julgamentos de valores sócio-econômicos, ambientais e políticos⁸; envolve um maior número de atores cujas responsabilidades não são claras e apresenta muitos grupos de interesses com objetivos conflitantes. Por estes motivos, dentre outros, a ACB recebe um volume incomensurável de críticas⁹.

Torna-se necessária, portanto, a aplicação de abordagens mais flexíveis que também permitam a agregação de variáveis intangíveis monetariamente e a consulta às populações afetadas (GARTNER, 2001). Conseqüentemente, estudiosos como Stirling (1996) sugerem instrumentos alternativos que permitam essa flexibilidade e considerem diversos critérios para o processo de escolha, como é o caso dos métodos multicritérios de apoio à decisão ou métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD)¹⁰.

2.2 Processo de decisão

O processo de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve informações imprecisas e/ou incompletas, múltiplos critérios de escolha e vários agentes de decisão (GOMES e MOREIRA, 1998). Além disso, os problemas de decisão envolvem múltiplos objetivos que, geralmente, são conflitantes entre si (HAHN, 2003; HUIZINGH e VROLIJK, 1997). Deste modo, a escolha por um deles implica em prejuízo do outro.

A tomada de decisão, por conseguinte, deve buscar a opção que apresente o melhor resultado, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre

⁸ Estes julgamentos são complexos ou de pouco provável mensuração econômica, muitas vezes sendo expressos somente na forma qualitativa.

⁹ Para maiores informações e detalhes sobre as críticas à ACB, consultar: Kopp, Krupnick e Toman (1997), Heizerling e Ackerman (1997) e Adler e Postner (1999).

¹⁰ Em princípio, tanto uma abordagem monocritério quanto uma metodologia de apoio de decisão multicritérios podem ser adotadas para executar uma análise multidimensional quantitativa, embora suas metas e utilidades dependam do contexto da decisão (BANA E COSTA, SILVA e CORREIA, 2004).

as expectativas do “decisor” e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos¹¹ (SOARES, 2003). Segundo Bana e Costa (1995) em Fernandes (1996), este é um sistema aberto, composto pelos atores¹² (*stakeholders*), seus valores e seus objetivos.

Uma representação esquemática do processo de decisão é apresentada na figura 1. Observa-se que os atores são identificados como “facilitadores” e “decisores”. O “facilitador” desempenha dois papéis: esclarecer o processo de avaliação e/ou negociação inerente à tomada de decisões, melhorando a comunicação entre os atores, e construir um modelo que considere os pontos de vistas dos atores e seus juízos de valores (HAMALAINEN *et al.*, 2001). Já os “decisores” são aqueles a quem foi moralmente ou formalmente delegado o poder de decisão, podendo intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação (FERNANDES, 1996). Ou ainda, "decisor é a pessoa que assume a culpa se a decisão gera um resultado desastroso" (BANA E COSTA, 1992 em SOUZA, 1999).

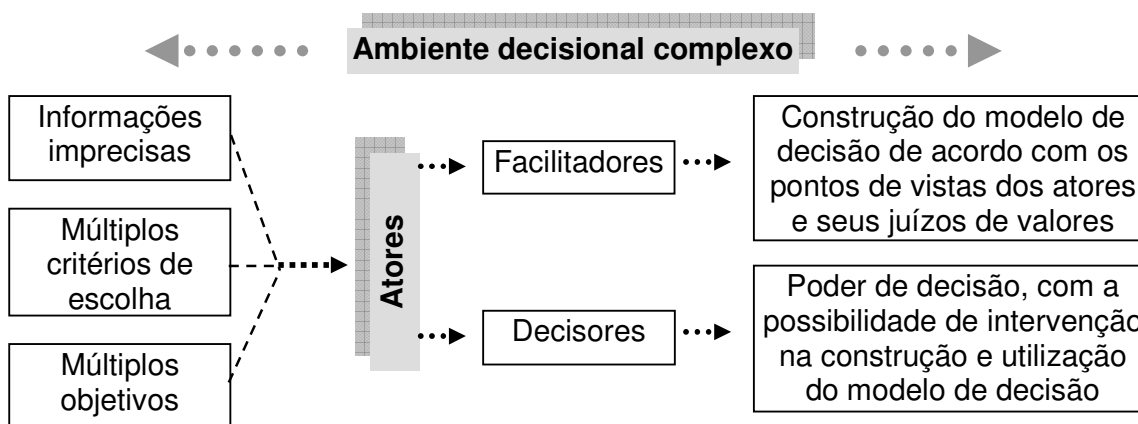


Figura 1 – Sistema de tomada de decisão.

Fonte: Adaptado de Schmidt (1995).

Assim, pode-se definir a tomada de decisão como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da 'solução ótima' e conduz para a procura da 'solução de melhor acordo' (SCHMIDT, 1995). Nota-se, portanto, que a complexidade da tomada de decisão requer um

¹¹ Embora a objetividade seja uma preocupação importante, deve-se lembrar que a tomada de decisão é, antes de tudo, uma atividade humana, fundamentada na noção de valor. Logo, a subjetividade é o motor da decisão.

¹² Atores são pessoas que tem uma posição no contexto decisional, tem interesses comuns nos resultados das decisões e influenciam na decisão através de seus valores individuais.

tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão. Dentre outros, destacam-se os Métodos Multicritérios de Análise de Decisão – MMAD, que são o objeto de análise desta dissertação.

2.3 Características gerais dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

As abordagens multicritérios são formas de modelar os processos de decisão que englobam: uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores. Desta forma, os métodos multicritérios funcionam como uma base para discussão, principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores, ou ainda, quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente consolidada (NORONHA, 1998). Seu objetivo, portanto, é ajudar o “decisor” a analisar os dados que são intensamente complexos no campo ambiental e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente.

Essas abordagens foram desenvolvidas para problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos. Elas têm como base o princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto as informações utilizadas para a tomada de decisão (SCHMIDT, 1995). Nota-se, que a análise multicritérios leva em conta a subjetividade dos atores¹³ (NORONHA, 1998). Por isso, a convicção da interconexão e inseparabilidade dos elementos objetivos e subjetivos do contexto decisório, e a certeza da aprendizagem e do construtivismo¹⁴ são consideradas por Bana e Costa (1993) em Souza (1999) como as características mais importantes dos MMAD.

Os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão¹⁵ permitem avaliar critérios que não podem ser transformados em valores financeiros. Sua aplicação é apropriada para comparar alternativas de projetos, políticas e cursos de ação e

¹³ O fato de a introdução de critérios múltiplos prover certa subjetividade não significa que as análises devem ser avaliadas casualmente ou subjetivamente (HENING e BUCHANAN, 1994).

¹⁴ Durante o desenvolvimento do modelo se adota uma postura construtivista, o que proporciona, seguindo o paradigma da aprendizagem, uma crescente agregação de conhecimento sobre o problema em foco (SOUZA, 1999).

¹⁵ Os diferentes métodos multicritérios estão alicerçados nas seguintes teorias: a) Teoria da Utilidade; b) Teoria do Bem-Estar Social; c) Teoria da Medida Psico-Sensitiva; d) Pesquisa Operacional e Programação Matemática; e) Análise de Informações e Escalonamento (JACQUET-LAGREZE, 1985 em BAASCH, 1995).

também para analisar projetos específicos, identificando seu grau de impacto global, as ações mais eficazes e as que devem ser modificadas (FERNANDES, 1996). Desta forma, a metodologia multicritérios dá ao grupo envolvido no processo de tomada de decisão, subsídios necessários para se obter uma solução que melhor se ajuste às suas necessidades.

Com a aplicação dos modelos multicritérios, o “decisor” poderá estimar as possíveis implicações de cada curso de ação, de modo a obter uma melhor compreensão das vinculações entre suas ações e seus objetivos (FLAMENT, 1999). O desafio é identificar, entre critérios conhecidos ou implícitos, quais são relevantes para o problema de decisão (HENING e BUCHANAN, 1994).

As variáveis de decisão são as ações detalhadas que devem ser escolhidas e comunicadas. A decisão do grupo será a combinação das preferências individuais, resultando, portanto, em um intercâmbio de decisões entre seus membros, por meio da negociação das propostas aceitáveis. Logo, se o acordo é obtido, elas são automaticamente pactuadas (GOMES e MOREIRA, 1998).

A forma de tratamento analítico da informação é tão importante quanto a própria qualidade da informação disponível ao longo do processo de resolução de um problema complexo. Fundamentalmente, ela deve agregar valor à qualidade da informação, havendo, por conseguinte, uma relação estreita entre a qualidade da informação e a qualidade do apoio à tomada de decisão (GOMES e MOREIRA, 1998). Por isso, os resultados obtidos pela análise multicritérios dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação atribuídos aos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores (SOARES, 2003).

É possível notar, portanto, o esforço dos MMAD em representar o mais fielmente possível as preferências do “decisor” ou do grupo de “decisores”, mesmo que essas preferências não sejam totalmente consistentes. Estes métodos, contudo, não visam apresentar uma solução ao problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada. Na realidade, eles buscam apoiar o processo decisório com a recomendação de ações ou cursos de ações a quem vai tomar decisão.

2.4 Execução da análise multicritérios

A análise multicritérios é desenvolvida em etapas que, de modo geral, podem ser representadas da seguinte maneira (SOARES, 2003):

a. Formulação do problema. De um modo bastante simples, corresponde à definição do que se quer decidir.

b. Determinação das ações ou alternativas potenciais. Os atores envolvidos na tomada de decisão devem constituir um conjunto de ações¹⁶ que atendam ao problema colocado.

c. Definição dos critérios de avaliação. Elaboração de um conjunto de critérios que permita avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente. Esta é uma tarefa longa, com sucessivas aproximações entre os objetivos desejados e a possibilidade de atendimento com os recursos financeiros, tempo e conhecimentos disponíveis¹⁷.

d. Avaliação das alternativas. Esta etapa é, geralmente, formalizada pela construção de uma matriz de avaliações ou tabela de performances, na qual as linhas correspondem às ações ou alternativas a avaliar e as colunas representam os respectivos critérios de avaliação previamente estabelecidos¹⁸.

e. Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação. Os pesos traduzem numericamente a importância relativa de cada critério, revelando as preferências dos decisores (PRATO, 2003). A ponderação de critérios pode ser realizada com o uso de várias técnicas como: hierarquização de critérios, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, jogos de cartas, dentre outros (SOARES, 2003).

f. Agregação dos critérios. Após o preenchimento da matriz de avaliação, os critérios são agregados, segundo um modelo matemático definido, associando as avaliações dos diferentes critérios para cada ação ou alternativa. As ações serão em seguida comparadas entre si por um julgamento relativo de seus valores.

¹⁶ Ações são as opções de escolha na tomada de decisão, ou ainda, os objetos sobre os quais serão procedidas as avaliações e comparações (SOARES, 2003).

¹⁷ Para a construção de critérios, normalmente são utilizados elementos estruturais denominados parâmetros e indicadores. Hierarquicamente, os parâmetros, que são dados mais diretos e simples, estariam na base da estrutura de construção. Em nível intermediário, se encontrariam os indicadores, representando conjuntos de dados de natureza diferente, agregados em uma característica mais sintética, seguidos em um nível superior pelos critérios (SOARES, 2003).

¹⁸ Um aspecto importante a ser considerado nesta etapa da análise multicritérios refere-se ao desempenho de uma determinada alternativa em relação aos critérios de avaliação.

A figura 2 apresenta as etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão. Nela são descritas todas as atividades desenvolvidas pelo facilitador e pelos decisores.

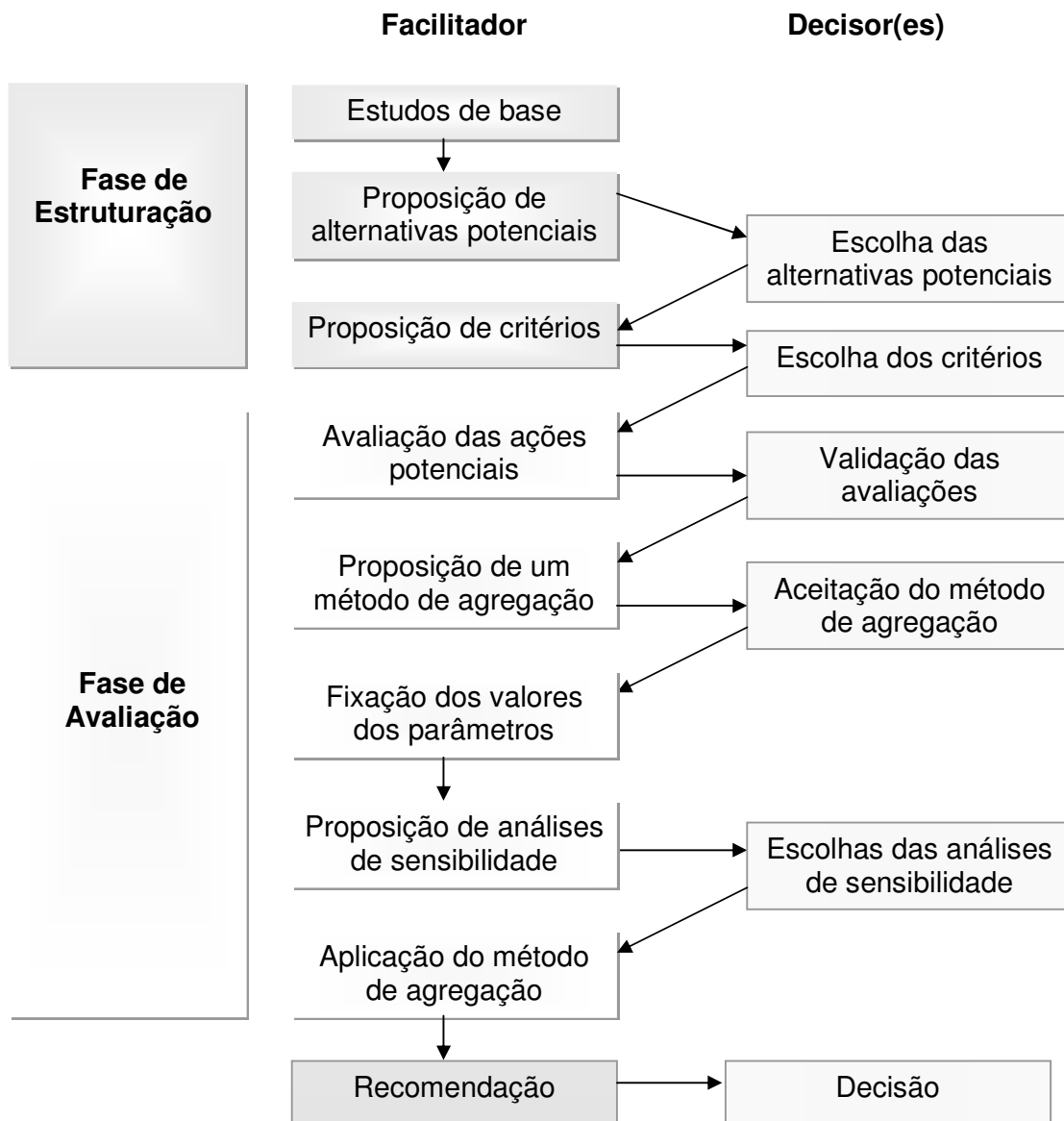


Figura 2 - Etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão.
Fonte: Adaptado de Soares (2003).

A execução destas etapas apresenta algumas dificuldades, como destaca Fernandes (1996):

- existência de múltiplos critérios;
- dificuldade em identificar boas opções;

- presença de fatores intangíveis;
- multiplicidade de grupos afetados pelas decisões;
- natureza seqüencial das decisões;
- horizonte de longo prazo;
- risco e incerteza;
- risco à vida;
- natureza interdisciplinar dos impactos;
- presença de vários “decisores”;
- interdependência entre critérios.

As etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão descritas na figura 2 caracterizam duas fases distintas da aplicação dos MMAD: a estruturação e avaliação¹⁹. Na estruturação o modelo é efetivamente construído, definindo-se que aspectos serão considerados. Na avaliação são criadas as formas para mensurar os aspectos considerados importantes. Ao final deste processo, são propostas as recomendações aos decisores, como se observa na figura 3 (BANA E COSTA, 2005).

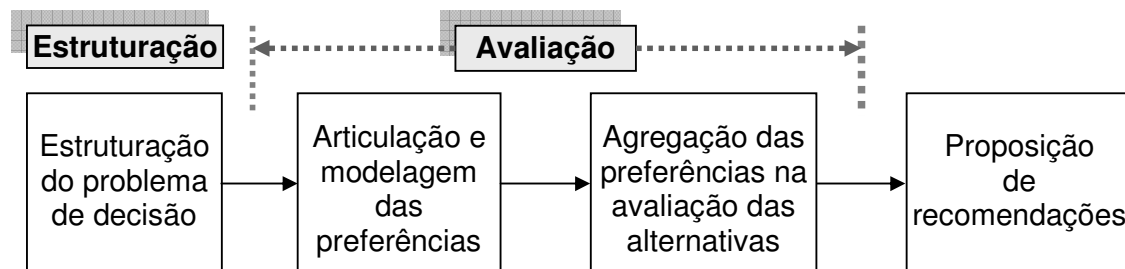


Figura 3 – Fases de aplicação dos Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão.

Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

A estruturação, para Bana e Costa (2005), é uma fase de análise do sistema em estudo. Ela conduz à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores intervenientes e à explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si, em termos dos méritos e desvantagens relativas, frente a um conjunto de critérios de avaliação que, nesta fase, são definidos de acordo com os pontos de vista dos atores.

¹⁹ Zanella (1996) em Noronha (1998), Corrêa (1996), Montibeller Neto (1996) e Gomes e Alencar (2005), separam o processo de construção de um modelo Multicritérios de Apoio à Decisão em três etapas: estruturação, avaliação e recomendações.

Já a avaliação, é considerada uma fase de síntese, onde a análise de sensibilidade e robustez é utilizada para esclarecer a escolha. Realiza-se a valoração das alternativas ou ações potenciais, por meio da articulação e modelagem das preferências.

Na aplicação dos MMAD é feito o levantamento do conjunto de alternativas \underline{A} ($A = \{a_1 \dots a_j \dots a_n\}$) e do conjunto de critérios \underline{F} ($F = \{g_1 \dots g_j \dots g_m\}$). As alternativas do conjunto \underline{A} são comparadas entre si considerando seus desempenhos nos critérios do conjunto \underline{F} . Para a valoração de cada alternativa, em cada critério, adota-se a notação $g_j(a_i)$. Os resultados são tabulados na matriz de avaliação (GARTNER, 2001):

	g_1	g_j	g_m
a_1	$g_1(a_1)$	$g_j(a_1)$	$g_m(a_1)$
..			
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
a_j	$g_1(a_j)$	$g_j(a_j)$	$g_m(a_j)$
..			
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
a_n	$g_1(a_n)$	$g_j(a_n)$	$g_m(a_n)$
..			

Depois de obter as preferências do “decisor” efetua-se a agregação, definindo o tipo de método multicritérios de apoio à decisão a ser aplicado. Roy (1985), Bana e Costa (1995), Jacquet-Lagrange (1995) e Vincke (1995) em Gartner (2001), com base no procedimento de agregação das preferências, classificam os MMAD em três tipos:

a) Métodos de agregação a um critério único de síntese

Os métodos de critério único de síntese assumem que as preferências dos “decisores” podem ser representadas por uma função de utilidade ou de valor. Estas devem ser avaliadas pelo analista com o uso de modelos aditivos, multiplicativos, entre outros (GARTNER, 2001).

Estes métodos adotam o princípio da transitividade²⁰ e não admitem a incompatibilidade das ações potenciais. Consideram, em geral, somente as situações de preferência e indiferença, o que resulta em ordenações totais das alternativas (GARTNER, 2001). Alguns exemplos destes métodos são: UTA, PREFCALC, UTASTAR, MINORA, AHP, MACBETH, MAVT, SMART, EVAMIX e TOPSIS (GONÇALVES, 2001). A figura 4 apresenta o fluxo de processamento destes modelos.

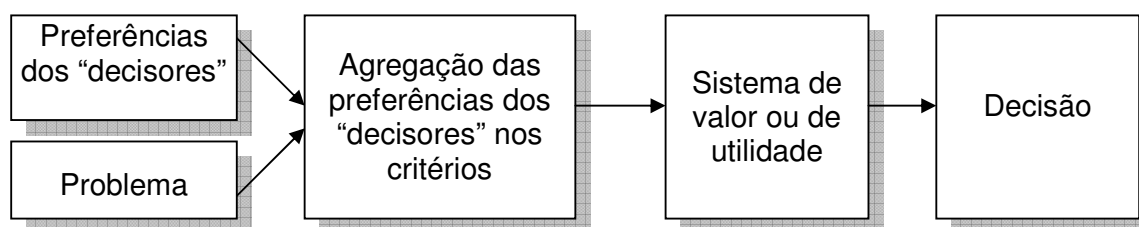


Figura 4 – Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese.
Fonte: Gartner (2001).

b) Métodos de subordinação ou outranking

A relação *outranking* é definida como sendo binária. Ela compara os argumentos favoráveis e contrários à hipótese de que a ação “a” é no mínimo tão boa quanto a ação “b”. Isso equivale dizer que a é “não pior que” b, por meio da notação: $a \succ b$ (a outranks b) (GARTNER, 2001).

Relações *outranking* (S) permitem o tratamento da incompatibilidade entre as ações. As situações de incompatibilidade podem ocorrer na prática, devido à incerteza e imprecisão dos dados utilizados e pelas características próprias do “decisor”. É importante destacar que não há necessidade de que as relações *outranking* atendam ao princípio da transitividade. Estas abordagens definem condicionantes em sistema de preferências, no qual devem ser enquadrados os desempenhos fornecidos pelo “decisor” para cada uma das ações (GARTNER, 2001). A figura 5 representa o fluxo de processamento destes modelos.

²⁰ Se A é preferível a B e B é preferível a C, então, A é preferível a C.

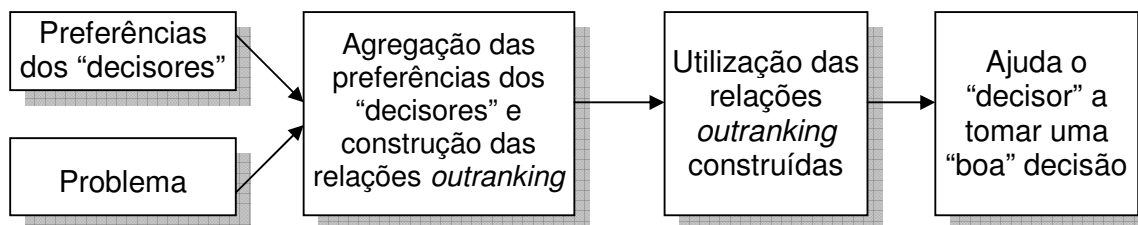


Figura 5 – Fluxo de processamento dos modelos *outranking*.

Fonte: Gartner (2001).

Gonçalves (2001) cita alguns métodos *outranking*: QUALIFLEX, ORESTE, MELCHIOR, PROMETHEE, TACTIC, MAPPAC, PRAGMA, N-TOMIC, ELECCALC, ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III e ELECTRE IV. Gartner (2001) menciona ainda: MERCHIOR, REGIMA e NAIADE.

c) Métodos interativos

Os métodos interativos, também são conhecidos como *Multi-Objective Decision Making* (MODM), têm como base as técnicas de programação matemática envolvendo conjuntos contínuos de alternativas com espaços contínuos de soluções. Eles alternam passos computacionais e diálogo com os tomadores de decisão: o primeiro passo computacional provê uma primeira solução que é apresentada aos tomadores de decisão, que reagem dando informações extras sobre suas preferências, permitindo a construção de uma nova solução (TOPCU, 1999).

2.5 Principais Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

a) AHP – Analytic Hierarchy Process

O método AHP reduz decisões complexas dentro de uma série de comparações simples (*Pairwise Comparisons*) entre elementos da hierarquia de decisão. Pela síntese dos resultados destas comparações, o AHP pode ajudar a chegar à melhor solução e prover uma clara razão para a escolha feita (MENDOZA *et al.*, 1999).

O AHP é uma ferramenta muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos princípios, critérios, indicadores e verificadores (MENDOZA *et al.*, 1999). Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica

(GOMES e MOREIRA, 1998). A figura 6 apresenta um fluxograma do funcionamento geral do método.

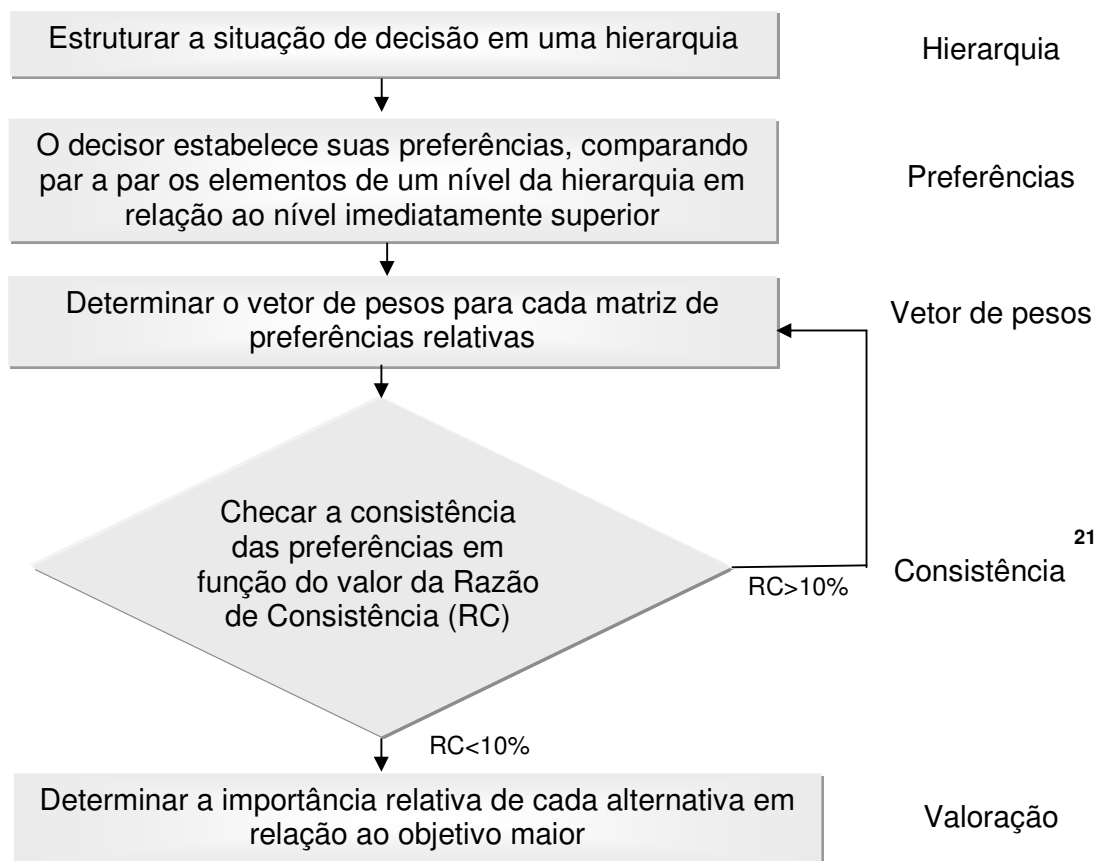


Figura 6 - Fluxograma geral do AHP.
Fonte: Schmidt (1995).

b) MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

O método MACBETH foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick²² em 1994. Ele constrói uma função critério de um ponto de vista fundamental e determina os parâmetros relacionados com a informação (pesos na fase de agregação) (BANA E COSTA *et al.*, 1999; GOMES e ALENCAR, 2005).

Trata-se de uma abordagem que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções, como se observa na figura 7 (BANA E COSTA e CHAGAS, 2002; BANA E COSTA, CORTE e VANSNICK, 2004). O MACBETH mede o grau de preferência de um “decisor” sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a

²¹ O cálculo da Razão de Consistência (RC) será detalhado no capítulo 4.

²² Universidade de Lisboa e Universidade de Mons-Hainaut (Bélgica), respectivamente.

revisão (BANA E COSTA e VANSNICK, 1994). Sua maior vantagem, portanto, é interatividade (FERNANDES, 1996).

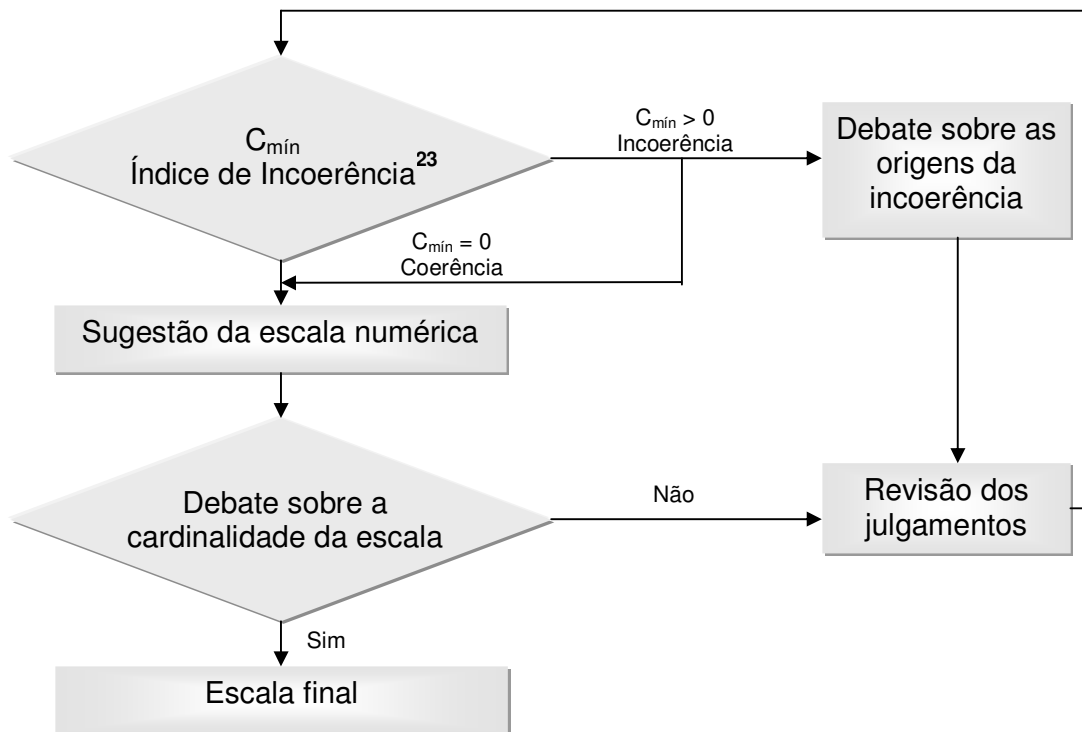


Figura 7 - Fluxograma do processo interativo do MACBETH.
Fonte: Schmidt (1995).

c) PROMETEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

Os métodos PROMETHEE têm como objetivo proporcionar aos “decisores” um melhor entrosamento e entendimento da metodologia de apoio à decisão utilizada (GARTNER, 2001). Ele atua na construção de relações de superação valorizadas, incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica facilmente compreensível pelo “decisor”.

Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério, já que constrói o grau de superação entre cada par de ações ordenadas levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a respeito de cada atributo (FLAMENT, 1999). Sua aplicação é indicada para solução de problemas formados

²³ O Índice de Incoerência (teórica) está relacionado à consistência cardinal do conjunto de juízos de diferença de atratividade, dados pelo decisor. Para o teste de coerência teórica, o valor de C_{min} deve ser zero ($C_{min}=0$). Se $C_{min} > 0$ é porque existe alguma incoerência nos julgamentos (Schmidt, 1995).

por um número finito de alternativas e por vários critérios de decisão, que devem ser maximizados ou minimizados de acordo com a necessidade (SANTOS *et al.*, 2005).

Há várias versões do PROMETHEE. Em PROMETHEE I se obtém uma pré-ordem parcial, e no PROMETHEE II pode-se obter uma pré-ordem total considerando os fluxos líquidos de cada alternativa. Outras variantes do método analisam situações mais sofisticadas de decisão, em particular problemas com um componente estocástico. Dessa forma se desenvolvem as versões PROMETHEE III, PROMETHEE IV e PROMETHEE V (FLAMENT, 1999).

d) ELECTRE - *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*

ELECTRE 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). Eles se sustentam em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite (*outranking*), utilizando um intervalo de escala no estabelecimento das relações de troca na comparação aos pares das alternativas (GONÇALVES, 2001).

Estes métodos foram desenvolvidos pela Escola Francesa e, atualmente contam com os procedimentos ELECTRE I, II, III IV, IS e ELECTRE TRI, que resolvem diferentes tipos de problemas suscitados no tratamento da teoria da decisão (FLAMENT, 1999). Estas técnicas podem ser aplicadas na solução de problemas de gestão de recursos hídricos, caracterizados por alternativas avaliadas por critérios preferencialmente qualitativos, com fixação prévia das preferências por parte dos decisores. Também são utilizadas para variáveis contínuas, sob critérios quantitativos, ou para situações mistas (GONÇALVES, 2001).

Entretanto, Gartner (2001) adverte que os métodos ELECTRE envolvem conceitos complexos. Além disso, requerem muitos parâmetros para a construção dos limiares de discriminação, concordância e discordância.

2.6 Análise crítica dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

As abordagens multicritérios apresentam duas prerrogativas decisivas: definir e evidenciar a responsabilidade do “decisor” e melhorar a transparência do processo de decisão (SOARES, 2003). Elas proporcionam uma melhor adaptação aos contextos decisórios encontrados na prática, permitindo que um grande número de dados, interações e objetivos sejam avaliados de forma integrada. Este fato é apontado por Gartner (2001) como a maior vantagem dos MMAD em relação aos modelos monocritérios tradicionais, dos quais se destaca a análise custo-benefício.

Outra vantagem dos MMAD está relacionada com o consenso geral em um grupo multidisciplinar na tomada de decisão: não é necessário que todos concordem com a importância relativa dos critérios ou com a ordenação das alternativas. Assim, cada um apresenta seus próprios julgamentos e contribui distintamente para que uma conclusão seja alcançada em conjunto (MENDOZA *et al.*, 1999). Segundo Bouyssou (1989) em Noronha (1998), isto ocorre porque as abordagens multicritérios assumem que, na maioria dos contextos decisórios, é possível identificar um pequeno número de pontos de vista, normalmente entre três e dez, para construir um conjunto de critérios exaustivo e simples o suficiente para ser aceito como base de discussão por todos os atores envolvidos no processo.

As abordagens multicritérios apresentam ainda outros pontos fortes, como (BOUYSSOU, 1990 em MELLO *et al.*, 2003; DIAKOULAKI e MAVROTAS, 2004):

- consideração de uma grande variedade de critérios independentemente do tipo de dados (quantitativos ou qualitativos) e da escala de medida;
- envolvimento de todos os decisores;
- motivação para os decisores refletirem sobre os conflitos, levando em consideração outros pontos de vista e argumentos antagônicos;
- multidisciplinaridade, que captura da complexidade dos sistemas naturais, a pluralidade dos valores associados aos bens ambientais e as variações das percepções de desenvolvimento sustentável;
- a construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores que fazem uso de diversos pontos de vista comuns;
- a facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista;

- interpretar cada alternativa como um acordo entre objetivos em conflito²⁴;
- divisão do processo de desenvolvimento do modelo em duas fases distintas – construção dos critérios de avaliação e definição dos parâmetros que serão utilizados para agregação destes critérios para auxiliar a decisão²⁵.

Não obstante as vantagens apresentadas, Stirling (1996) ressalta que nas abordagens multicritérios, são estabelecidas metas para cada objetivo, para então, minimizar a soma dos desvios nos níveis realizados por cada variável para a qual há uma meta. Conseqüentemente, é gerada uma imensa matriz com diferentes objetivos, metas e pesos, que evidenciam as diversas perspectivas dos agentes envolvidos na escolha.

Assim, os responsáveis pela decisão final farão as suas escolhas considerando vários aspectos distintos. O problema é que a minimização ocorre sujeita a uma série de restrições, que refletem principalmente a demanda por recursos. Surgem, portanto, conflitos entre a simultânea maximização e minimização de todos os objetivos. Além disso, o nível de informações requeridas é muito grande e o estabelecimento das metas pode ser outro problema (STIRLING, 1996). Já Diakoulaki e Mavrotas (2004), destacam como a maior desvantagem destas abordagens, a inexistência de uma metodologia única que supra as deficiências inerentes a cada um dos métodos.

Ao final desta análise, fica claro que os métodos multicritérios para apoio à tomada de decisão agregam um valor substancial à informação, pois, não só permitem a abordagem de problemas considerados complexos e, por isto mesmo, não tratáveis pelos procedimentos intuitivo-empíricos usuais, mas também dão ao processo de tomada de decisão clareza e transparência jamais disponíveis quando métodos de natureza monocritério são empregados (GOMES e MOREIRA, 1998).

Segundo Gartner (2001), os métodos multicritérios apresentados, são as abordagens mais desenvolvidas e exploradas cientificamente, além de apresentar a maior aplicação prática relatada. Torna-se necessário, portanto, selecionar o método adequado ao problema ambiental focado neste trabalho: o uso múltiplo de reservatórios. Deste modo, será possível avaliar as abordagens multicritérios, a fim

²⁴ Esse argumento destaca o fato de que raramente será encontrada uma situação em que exista uma alternativa superior às restantes sobre todos os pontos de vista.

²⁵ Assim, informações como os pesos dos critérios e as funções de valor associadas a cada um deles só são calculadas na segunda fase, ao contrário do que ocorre numa abordagem monocritério, onde a construção do critério único envolve também a incorporação destes parâmetros.

de saber se elas podem suportar a estruturação dos problemas de uso múltiplo de reservatórios, permitindo que as preocupações dos principais atores sejam exploradas e que haja *trade-offs* entre objetivos conflitantes, levando à avaliação as opções de diferentes perspectivas (BEINAT e NIJKAMP, 1998).

3 O USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS

3.1 Uso múltiplo de recursos hídricos

O problema de alocação da água entre os diversos usos e usuários de uma bacia hidrográfica pode ser minimizado quando prevalecem os seguintes atributos: o recurso é abundante, sua qualidade é compatível com os usos requeridos, a oferta do bem é garantida no espaço e no tempo, o recurso é utilizado de forma sustentável e há um equilíbrio relativo entre os atributos para que esse problema não se torne complexo. Quando essas características não estão presentes, a sociedade terá que envidar esforços para gerenciar a oferta e a demanda do recurso e estabelecer, da melhor forma possível, uma situação harmônica. Para tanto, são necessários (ROBERTO e PORTO, 1999):

- a) dispositivos legais adequados;
- b) entidades públicas e privadas aparelhadas e competentes para exercer suas funções definidas por lei e requeridas pela sociedade;
- c) instrumentos legais e econômicos que induzam ou obriguem o uso racional dos recursos hídricos;
- d) investimentos financeiros em obras de regularização, adução, controle de inundações e melhoria da qualidade das águas;
- e) domínio e utilização de uma vasta gama de instrumentos tecnológicos;
- f) entidades de referência ou excelência para a formação e treinamento de recursos humanos bem como para a realização de pesquisas;
- g) desenvolvimento das tecnologias necessárias,
- h) participação da sociedade no processo decisório e no cumprimento dos dispositivos legais.

Nota-se, por conseguinte, que a gestão dos recursos hídricos²⁶ deve receber a mais alta prioridade, a fim de se evitar conflitos insuperáveis ou de grande custo social e econômico para sua solução. Com o intuito de debelar estas ameaças,

²⁶ A gestão das águas é uma atividade voltada à formulação de princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que têm por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção das águas. Fazem parte dessa atividade os seguintes elementos: Política das Águas, Plano de Águas e Gerenciamento das Águas (LANNA, 1997).

a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº. 9.433/97²⁷, iniciam a estruturação do uso múltiplo das águas²⁸ e da gestão descentralizada, propiciando que os diferentes setores usuários de recursos hídricos passem a ter igualdade de direito de acesso à água²⁹.

Desta forma, a sociedade e órgãos públicos passam a cuidar da gestão das bacias hidrográficas por meio dos Comitês de Bacias, visando ao uso múltiplo dos recursos hídricos e tendo como proposta permitir o uso econômico das águas, garantindo sua conservação e a melhoria da qualidade de vida. Todavia, com o desenvolvimento econômico e o incremento da densidade populacional, diversos tipos de usos da água surgiram e têm estabelecido conflitos entre os usuários das principais categorias de usos da água (LANNA, 2002).

Há, portanto, a necessidade de compatibilização da disponibilidade espacial e temporal das águas com o padrão das demandas existentes, sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo (VIEGAS FILHO, LANNA e MACHADO, 1999). Em um estágio incipiente de desenvolvimento econômico, as disponibilidades hídricas podem ser utilizadas para suprir demandas singulares por meio de projetos que visem ao atendimento de um único propósito. No entanto, com o passar do tempo, o efeito multiplicador destes projetos pode exigir a satisfação de demandas hídricas de naturezas variadas³⁰. Conseqüentemente, em um nível mais avançado de desenvolvimento econômico, surgirão pressões para que o sistema atenda a múltiplas finalidades³¹ (LANNA, 2002).

²⁷ A Lei 9.433/97 apresenta, dentre outros, os seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, devendo sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (LEAL e HERRMANN, 1999).

²⁸ Pelo princípio dos usos múltiplos, os recursos hídricos devem estar disponíveis para todas as categorias de usuários com igualdade de oportunidade. Isto indica que, em todas as situações, o ponto de partida a ser considerado é o da avaliação das demandas dos distintos usuários, feita em um plano de igualdade de observação, para que se defina a verdadeira vocação sócio-econômica da bacia (GARRIDO, 1999).

²⁹ A única exceção, estabelecida na própria lei, é que em situações de escassez, a prioridade de uso da água no Brasil é o abastecimento humano e a dessedentação de animais. Os demais usos, entretanto, não têm ordem de prioridade definida.

³⁰ Segundo Magalhães (2006), é mais eficiente e eficaz maximizar a performance do conjunto do que maximizar a performance isolada de cada um dos componentes.

³¹ Deve-se reconhecer o caráter multisetorial do desenvolvimento dos recursos hídricos no contexto do desenvolvimento sócio-econômico, assim como os vários interesses na sua utilização para o abastecimento de água potável e saneamento, agricultura, indústria, desenvolvimento urbano, geração de energia hidroelétrica, pesqueiros de águas interiores, transporte, recreação, manejo de terras baixas e planícies e outras atividades (ONU, 1992).

Isso não impede que os múltiplos propósitos sejam concebidos, desde o início, em projetos precursores de desenvolvimento regional, como bem destaca Lanna (2002). Frequentemente, contudo, os vários usos são atendidos por sistemas de recursos hídricos não integrados. Esses sistemas não integrados podem se desenvolver sem transtornos até um momento em que o nível de apropriação dos recursos hídricos seja tão elevado que surgirão conflitos entre os vários usos da água. Haverá então a necessidade de harmonização dos diversos usos e sistemas. Isso pode ser obtido, em uma base de gerenciamento integrado, por meio de regulamentações ou pela expansão da oferta, a fim de aumentar ou adequar as disponibilidades hídricas às diversas demandas (LANNA, 2002).

A avaliação das estratégias visando ao desenvolvimento integrado, gerenciamento e proteção dos recursos hídricos deve ser fomentada por todas as instituições relevantes. Estas estratégias se basearão na troca de experiências entre atores envolvidos. Os governos podem melhorar o conhecimento, treinamento e troca de informações estimulando o aumento de transferência de tecnologia e especialização; o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e informação relacionados aos recursos hídricos e seus múltiplos usos; e o apoio de programas de treinamento técnico e de reforço. Eles podem também desempenhar um papel determinante na criação de estruturas apropriadas, em nível local e nacional, para o gerenciamento dos recursos hídricos com o uso de medidas legais, econômicas, sociais e ambientais (DECLARAÇÃO DE PARIS, 1998).

O uso conjunto de sistemas de recursos hídricos, sem que haja expansão, é chamado de compartilhamento do sistema³². Ele pode ser feito sobre a própria descarga hídrica do sistema ou poderá haver o compartilhamento das estruturas (LANNA, 2002). Esta possibilidade de compartilhamento das vazões hídricas e das estruturas hidráulicas é uma das grandes vantagens do múltiplo uso (OLIVEIRA, CURI C. e CURI F., 1999).

As economias de escala, obtidas na implantação do sistema, representam outra vantagem do uso múltiplo e integrado. Elas ocorrem quando os custos de investimento, operação e manutenção, por unidade da dimensão do projeto,

³² É importante destacar que, em um sistema de recursos hídricos com atendimento integrado a múltiplos usos, a capacidade final do sistema não será sempre igual à soma das capacidades individuais daqueles que atenderiam a um único uso. Isso ocorre devido ao padrão diário ou sazonal da demanda de um tipo de uso, que fará com que o sistema de suprimento trabalhe com folga em determinados períodos. Durante estes períodos poderá ser previsto, sem necessidade de expansão, o atendimento a outro uso (LANNA, 2002).

diminuem com a dimensão total. Isso é possível devido a uma maior produtividade do trabalho, por meio da especialização, maior diluição dos custos fixos que independem do número de usuários e a um maior poder de negociação advindo da aquisição de grandes quantidades de insumos. Desse modo, será mais proveitoso construir um projeto que atenda a diversos usos ao invés de vários projetos isolados que atendam a usos singulares (LANNA, 2002).

As desvantagens do uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos estão fortemente relacionadas a aspectos gerenciais. Para que a apropriação da água pelos diversos usuários seja realizada de forma harmônica, será necessário centralizar as decisões e estabelecer regras operacionais geralmente complexas³³. Logo, haverá a possibilidade de serem constituídas entidades multissetoriais, de grande porte e difícil administração (LANNA, 2002).

Não obstante a complexidade administrativa, Lanna (2002) frisa que o uso múltiplo dos recursos hídricos, em consequência do desenvolvimento econômico, deixa de ser uma opção e torna-se uma condição necessária. As únicas alternativas que o planejador dispõe, por conseguinte, são: integrar estes usos de forma harmônica, ou deixá-los de desintegrados, enfrentando, como consequência, conflitos entre os usuários que acabam comprometendo a eficiência do uso.

Uma solução para utilização mais eficiente dos recursos hídricos, sugerida por Cruz e Fabrizy (1995) e Thorne *et al.* (2003), é o uso múltiplo de reservatórios. Estes autores explicam que a crescente demanda por água e a necessidade de atendimento aos requisitos da sustentabilidade têm pressionado os gestores dos recursos hídricos a planejarem reservatórios que atendam a múltiplas finalidades e buscarem formas de otimizar a operação de reservatórios já existentes.

3.2 Reservatórios

Os reservatórios são sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, que apresentam as funções principais de manutenção da vazão dos cursos de água e atendimento às variações da demanda dos usuários

³³ O uso múltiplo das águas demanda um esforço adicional do setor elétrico, seu principal usuário. A gestão integrada dos reservatórios hídricos traz subsídios adicionais para as decisões de planejamento, coordenação e operação do sistema elétrico, pois identifica os agentes atuantes no cenário e facilita eventuais negociações de conflitos pelo uso da água (SIGEST, 2005).

(PRADO, 2002). São construídos pelo barramento³⁴ artificial de um vale natural ou pela formação artificial de lagos, não associados a uma bacia de drenagem natural e com vazões defluentes sujeitas a controle (CRUZ e FABRIZY, 1995).

A execução dessas obras hidráulicas tem sido necessária para a manutenção do progresso material das populações e sustentabilidade do desenvolvimento. Elas tornam o potencial hidroelétrico dos rios aproveitável, viabilizam seu uso como vias navegáveis interiores e possibilitam a utilização mais racional da água com a regularização de vazões, assegurando, deste modo, o uso da água de forma contínua para fins de abastecimento humano, industrial e para irrigação (LINK e ROSA, 2000).

A construção de reservatórios para diversos fins, entretanto, provoca a modificação dos ecossistemas naturais (SURESH *et al.*, 2000). Devido a grande dimensão dessas obras e à mudança do uso do solo em seu entorno, ocorrem impactos tanto durante a construção quanto após o início da operação, produzindo alterações hidrológicas, atmosféricas, biológicas e sociais, na região de construção e na área atingida pelo lago artificial, como pode se observar no quadro 1 (TUNDISI, 1987; BAKER *et al.*, 2000).

³⁴ Barramento, barragem ou paramento são estruturas construídas transversamente aos cursos d'água, alterando suas condições de escoamento natural. Formam um reservatório de água a montante, que tem finalidade única ou múltipla (DAEE, 2005).

Quadro 1 – Impactos causados pela construção e operação de reservatórios

Impactos causados pela construção de reservatórios	Impactos causados pela operação de reservatórios
<p>a. Ampliação das interfaces ar-água, sedimento-água e organismos-água, alterando o modelo de fluxo de energia³⁵;</p> <p>b. modificações no balanço hídrico;</p> <p>c. alterações na morfologia terrestre, com a ocorrência de sismos e aumento da erosão e salinidade dos solos;</p> <p>d. impactos sobre o microclima regional;</p> <p>e. alterações na matéria orgânica dissolvida, condutividade da água, transporte e concentração de sedimentos³⁶;</p> <p>f. aumento da superfície de evaporação;</p> <p>g. modificações na estrutura térmica vertical;</p> <p>h. desaparecimento de vegetação terrestre e das matas ciliares que são importantes sistemas de manutenção da diversidade;</p> <p>i. alterações da fauna de peixes³⁷ e biomassa de macrófitas aquáticas;</p> <p>j. desaparecimento da fauna terrestre;</p> <p>k. alterações das vias terrestres de comunicação;</p> <p>l. rompimento das atividades agrícolas;</p> <p>m. modificações estéticas na bacia hidrográfica;</p> <p>n. desaparecimento de sítios arqueológicos;</p> <p>o. necessidade de relocação das populações;</p> <p>p. alterações das condições sanitárias;</p> <p>q. propagação de vetores de doenças de veiculação hídrica.</p>	<p>a. Redução da qualidade de vida da população ribeirinha;</p> <p>b. valor da indenização paga aos trabalhadores rurais residentes na área alagada geralmente inferior ao preço real;</p> <p>c. deslocamento compulsório da população para terras menos produtivas, gerando empobrecimento e êxodo rural e aumentando periferia das grandes cidades;</p> <p>d. destruição do patrimônio cultural que constituía a referência para a vida social;</p> <p>e. atração de um contingente populacional relativamente grande, após a construção e o enchimento do reservatório, que se dirige à área com o propósito de obter emprego ou explorar o ambiente aquático;</p> <p>f. implantação de indústrias, dando início à crescente exploração do sistema aquático e de seu entorno;</p> <p>g. deterioração dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos devido à disposição inadequada de resíduos provenientes de despejos domésticos e industriais e resíduos de diversos tipos de culturas agrícolas³⁸.</p>

Fonte: Elaboração da autora com base em Tundisi (1987) e Cruz e Fabriza (1995).

³⁵ A criação de um novo ecossistema, que passa de lótico para lêntico, é mais um impacto causado pelo barramento (SMITH *et al.*, 2002).

³⁶ A degradação da vegetação nativa da área de inundação na bacia de acumulação pode alterar a qualidade da água, em razão da eutrofização e das pressões no balanço de oxigênio dissolvido, comprometendo o ecossistema aquático, os usos da água e equipamentos das unidades geradoras de energia (CUNHA-SANTINO e BIANCHINI JÚNIOR, 2002).

³⁷ Redução de determinadas espécies, dando lugar a outras, com maior capacidade de adaptação a ambientes lênticos (PEREIRA *et al.*, 2002).

³⁸ Esses fatores podem gerar a eutrofização de reservatórios, aumento da carga de sedimentos e concentração de elementos tóxicos (Dornfeld *et al.*, 2002).

Todos os impactos citados – ambientais, culturais, sociais e econômicos – alteram o funcionamento natural do sistema e são fatores determinantes do processo de deterioração da qualidade e da disponibilidade dos recursos hídricos³⁹, tornando-se fonte de conflitos relativos ao uso da água⁴⁰. No entanto, esses impactos e conflitos podem ser minimizados pela adoção de ações de manejo integrado (LANNA, 1997).

O manejo integrado de reservatórios possibilita a mitigação dos problemas inerentes à degradação da água e o atendimento das expectativas dos usuários inseridas no contexto de sustentabilidade (TUNDISI, 1987). Trata-se da indicação de formas práticas de planejamento de ações visando à integração harmônica de lagos artificiais resultantes de obras de barramento de rios para diferentes finalidades⁴¹ (LINK e ROSA, 2000).

Para consecução deste intento, devem ser utilizadas diversas técnicas e metodologias adequadas para cada reservatório, bacia hidrográfica e seqüência de represas (TUNDISI, 1987). Esta manipulação inclui usos múltiplos de reservatórios, tais como: abastecimento urbano, rural e industrial, irrigação, geração de energia hidrelétrica, navegação, recreação, turismo, controle de enchentes, mitigação de secas, pesca e aqüicultura. As intervenções, por conseguinte, devem ser planejadas para que as obras de barramento atendam às finalidades para as quais os empreendimentos foram concebidos e garantam a multiplicidade de usos dos reservatórios⁴², compensando os impactos resultantes sobre seu ambiente referencial (LINK e ROSA, 2000).

³⁹ A qualidade da água sofre alterações em função do represamento ou do uso que se faz da água represada. O impacto sobre o meio ambiente nos aspectos físico, químico e biológico no reservatório e a jusante do barramento depende, principalmente, do modo como o reservatório é operado em relação à frequência e à quantidade de água liberada (SILVA, 2001).

⁴⁰ Segundo Ribeiro Júnior *et al.* (2005), grande parte dos conflitos no Brasil tem origem na implantação de grandes usinas hidrelétricas.

⁴¹ Pode-se considerar o caso mais comum a construção de barragens para fins de aproveitamento de energia hidráulica, ou empreendimentos com outras finalidades precípuas como, por exemplo, abastecimento público ou irrigação (LINK e ROSA, 2000).

⁴² Os problemas relacionados aos aspectos sedimentológicos de reservatórios são preocupantes, pois a acelerada deposição de sedimentos pode reduzir a capacidade de armazenamento de água e prejudicar os usos a que estes de destinam (REIS, CASSIANO e ESPÍNDOLA, 2002).

3.3 Uso múltiplo de reservatórios

Os usos múltiplos de reservatórios, segundo Cruz e Fabrizy (1995), “são planos de aproveitamento de recursos hídricos projetados e operados para atender dois ou mais propósitos”⁴³. Trata-se de uma alternativa para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Na escolha dos usos a serem adotados no manancial em estudo, deve ser examinado o caráter quantitativo e qualitativo de cada um, tendo, deste modo, um indicativo da tendência de como vai ser solicitado o volume disponível de água no reservatório. Feita a seleção dos usos, é preciso estabelecer regras operacionais de apropriação da água a fim de se evitar conflitos de caráter administrativo e intersetoriais (OLIVEIRA, CURI C. e CURI F., 1999).

Alguns, dentre os vários usos múltiplos de reservatórios aplicáveis às bacias hidrográficas brasileiras e viáveis na realidade econômica nacional, são destacados no quadro 2. Nesse quadro, são apresentados usos consuntivos e não consuntivos⁴⁴ da água, sendo que estes últimos são perfeitamente compatíveis com as demais utilizações. Um modelo que ilustra esse fato é o Programa de Racionalização de Energia da SABESP. Ele prevê o uso de seus reservatórios de abastecimento para geração hidrelétrica por Pequenas Centrais Hidrelétricas⁴⁵ (PCH) de baixas quedas, podendo ser adequado em várias cidades brasileiras (CRUZ e FABRIZY, 1995). Outro exemplo é a água liberada de um reservatório para ser usada em irrigação à jusante, que pode passar pelas turbinas de uma PCH e gerar energia hidrelétrica.

⁴³ Um plano projetado para uma finalidade única, mas que produza benefícios casuais relativos a outras finalidades não é considerado de uso múltiplo (CRUZ e FABRIZY, 1995).

⁴⁴ Os principais usos consuntivos dos recursos hídricos são: abastecimento humano, animal (dessedentação) e industrial e irrigação. Dentre os usos não consuntivos destacam-se geração de energia elétrica e navegação.

⁴⁵ Para maiores detalhes sobre PCH consultar ELETROBRÁS (2000).

Quadro 2 – Usos múltiplos de reservatórios aplicáveis às bacias hidrográficas brasileiras

Tipo de uso	Descrição
Geração de energia hidrelétrica	A energia hidrelétrica pode ser gerada por Usinas Hidrelétricas (UHE) ou Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). A vantagem das PCHs é que não há necessidade de grandes vazões.
Abastecimento	As necessidades para o uso doméstico são menos variáveis durante o ano, porém, geralmente, há uma utilização máxima no verão. É importante manter uma reserva suficiente para o período de seca e, como precaução sanitária, pode ser impedido o uso dos reservatórios para recreação.
Regularização de enchentes	O objetivo fundamental do reservatório, que é totalmente compatível com outros usos da água, é armazenar uma parte das vazões de enchente, minimizando, no local a ser protegido, o pico da cheia.
Recreação	É bastante incomum a construção de reservatório para recreação, sendo os benefícios neste setor geralmente casuais, decorrentes de outras funções de aproveitamentos. O projeto deve conter construções estruturais, sanitários, calçamentos, plantação de vegetação apropriada nas margens ⁴⁶ .
Aqüicultura	O reservatório pode ser utilizado para produção em cativeiro, de organismos com habitat predominantemente aquático, tais como peixes, camarões, rãs, entre outras espécies. Porém, mesmo não tendo nenhuma medida específica de piscicultura, muitos reservatórios, devido a sua natural eutrofização ⁴⁷ , têm aumentado bastante a produção local de algumas espécies de peixes.
Produção de fertilizantes	Uma alternativa seria a criação de aguapés, planta aquática comum em represas, que crescem 1% ao dia. Trata-se de um biofertilizante com teores de 2,15% de nitrogênio, 0,56% de fósforo e 4,75% de potássio ⁴⁸ , com a conveniência de serem produzidos próximo ao consumo. Uma outra utilização do aguapé é na produção de biogás, que é eficiente para cocção.

Fonte: Elaboração da autora com base em Cruz e Fabrily (1995).

É importante ressaltar que qualquer plano racional de uso de reservatórios e de seus entornos implicará, essencialmente, na conceituação da multiplicidade de usos da água. São necessárias ações eficazes de manejo ambiental de todos os fatores que possam influenciar tanto a qualidade do recurso como condicionar sua disponibilidade aos diferentes usuários. Não obstante, é preciso tentar solucionar eventuais conflitos decorrentes de diferentes interesses de apropriação e usos dos recursos hídricos (LINK e ROSA, 2000).

⁴⁶ Os reservatórios de PCH e UHE, no Brasil, têm sido bastante usados para recreação, mesmo não tendo infra-estrutura para isso ou, às vezes, sendo até proibidos deste fim (CRUZ e FABRIZY, 1995).

⁴⁷ As características que definem a eutrofização são: vegetação abundante, alta concentração de sais e turbidez elevada (LU e LO, 2002).

⁴⁸ Valores referidos à massa seca.

Para tanto, é necessário que o planejamento dos empreendimentos preveja sua inserção na região de referência, para trazer contribuições efetivas a seu desenvolvimento material pela multiplicação de benefícios⁴⁹. Por outro lado, devem ser levados em conta os efeitos que podem ser causados sobre o lago artificial devido a um ambiente deteriorado, poluindo as águas ou tornando-as inadequadas para consumo, bem como problemas de ordem operacional nos equipamentos da barragem, seja esta para geração de energia ou para qualquer outra finalidade (LINK e ROSA, 2000).

Quaisquer outros usos, requeridos ou desejados de um reservatório e do sistema hídrico regional a ele associado, deverão atender aos requisitos do uso prioritário do reservatório. No caso de aproveitamento hidroelétrico os outros usos precisam condicionar-se aos níveis operacionais e às vazões demandadas para produção de energia ou para suprimento de água, no caso de um aproveitamento para abastecimento público ou para irrigação (LINK e ROSA, 2000).

Torna-se necessário ainda que eles se adequem a condições de segurança do empreendimento. Segundo Link e Rosa (2000), isto implica em restrições de acesso a determinados locais, como proximidades de tomadas de água, canais de aproximação, vertedouros, canais de restituição, aberturas de escadas de peixes, dentre outros, bem como aos aspectos legais relativos à proteção ciliar do lago.

De forma concomitante a esse conjunto de medidas, o conceito de aproveitamento do reservatório abrange a exploração econômica racional de parte do conjunto representado pelo lago e seus entornos, com implantação de unidades de conservação, áreas de reflorestamento, projetos de piscicultura, ou outras atividades. São estimuladas, por conseguinte, parcerias com investidores interessados em usos conservacionistas de recursos naturais, porém com retorno econômico e financeiro (LINK e ROSA, 2000). Um roteiro para o planejamento do uso múltiplo de reservatórios é apresentado na figura 8. A figura 9 mostra um modelo de estrutura de decisão sobre a operação de reservatórios.

⁴⁹ O artigo 5º da Lei nº 13.123/97 do Estado de Goiás prevê que os municípios, com áreas inundadas por reservatórios ou afetadas por seus impactos terão programas de desenvolvimento promovidos pelo Estado, que serão formulados e vinculados ao uso múltiplo dos reservatórios ou ao desenvolvimento regional integrado ou à proteção ambiental.

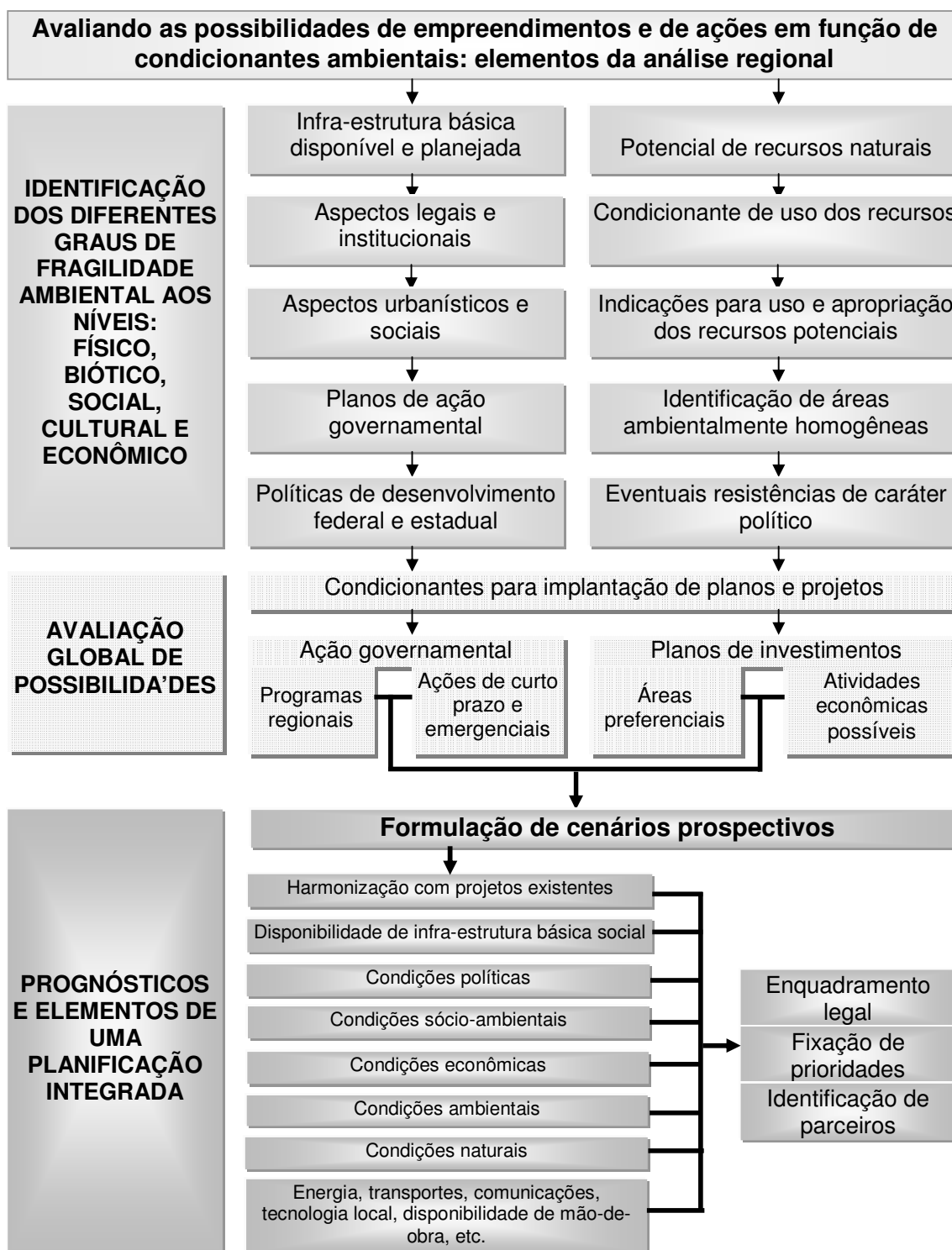


Figura 8 – Roteiro conceitual para o planejamento do uso múltiplo de reservatórios.
Fonte: Link e Rosa (2000).

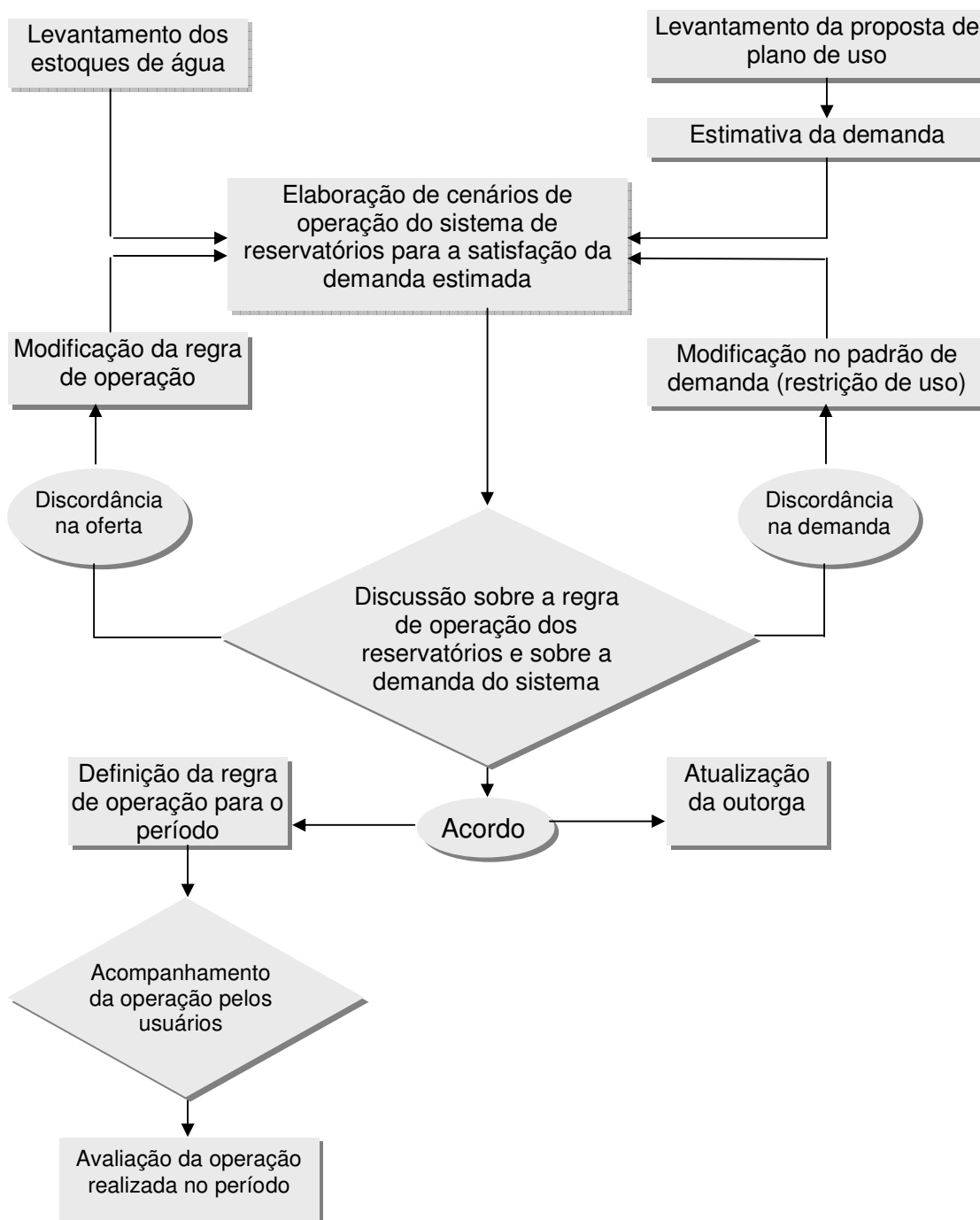


Figura 9 - Estrutura de decisão sobre a operação de reservatórios.
Fonte: Souza Filho (1999).

Alguns dos benefícios socioeconômicos gerados a partir do uso múltiplo de reservatórios podem ser expressos quantitativamente pelas receitas líquidas anuais obtidas pelos usos implementados e pelos empregos, diretos e indiretos, que poderão ser gerados a partir dos projetos implantados (OLIVEIRA, CURTI C. e CURTI

F., 1999). Outros exemplos de benefícios, tangíveis e intangíveis, podem ser destacados: melhora da alimentação e do microclima; atração de novos investimentos sociais, comerciais, rurais e industriais; geração de receita decorrente do pagamento de compensação financeira aos municípios abrangidos e da arrecadação do Imposto Sobre Serviços (ISS); dentre outros.

Já os custos, devem ser separados em parcelas que serão atribuídas aos diversos usos da água. Todavia, não existe um método de consignação de custos que possa ser indistintamente aplicado a todos os aproveitamentos e forneça parcelas inquestionavelmente corretas⁵⁰ (CRUZ e FABRIZY, 1995).

No intuito de se estabelecer condições mais propícias à obtenção de efeitos multiplicadores e de benefícios palpáveis para as populações locais, os usos múltiplos de reservatórios devem ser inseridos como fatores de desenvolvimento local e/ou regional, já que se tratam de empreendimentos vultosos que imprimem uma série de modificações nos seus contextos locais e/ou regionais⁵¹. Também é necessário que se fixem prioridades para as estratégias de investimento público e privado visando à utilização máxima de projetos existentes, por meio de manutenção, reabilitação e operação otimizada.

Diante do exposto, percebe-se que, dentro do moderno conceito de Gestão das Águas⁵², os assuntos que envolvem o planejamento do uso, controle e proteção dos recursos hídricos assumem grandes proporções, devido às interações entre o aproveitamento racional da água e o uso do solo. Logo, a tomada de decisões envolvendo vários agentes e múltiplos usos das águas, torna-se um procedimento complexo.

Para otimizar este processo, as decisões sobre o aproveitamento de recursos hídricos e energéticos, de acordo com o relatório final da Comissão Mundial de Barragens (CMB) do ano 2000, devem ser baseadas em uma abordagem abrangente capaz de integrar as dimensões sociais, ambientais e econômicas do desenvolvimento. Além disso, torna-se necessário que se crie um grau de transparência e certeza para todos os agentes envolvidos, aumentando assim o

⁵⁰ A prática brasileira é de cobrir todos os custos com os benefícios da geração hidrelétrica, embora gere muitas críticas por parte de concessionárias estatais (CRUZ e FABRIZY, 1995).

⁵¹ Justificam-se, portanto, os pequenos empreendimentos em termos locais, e os grandes em termos regionais, contribuindo para a sua viabilização política e social (LINK e ROSA, 2000).

⁵² O conceito de Gestão das Águas fundamenta-se na concepção de Desenvolvimento Sustentável, onde desenvolvimento econômico, equidade social e sustentabilidade ambiental devem caminhar lado a lado.

nível de confiança na capacidade de atendimento das necessidades futuras de água e energia das comunidades e das nações (SILVA, 2001).

O relatório da CMB aponta ainda cinco valores essenciais que devem nortear o processo de tomada de decisões sobre a construção de reservatórios para aproveitamento dos recursos hídricos e energéticos: equidade, sustentabilidade, eficiência, processo decisório participativo e responsabilidade (SILVA, 2001). Logo, faz-se necessário ponderar os aspectos políticos, sociais, econômicos, financeiros, hidrológicos, ambientais e de engenharia, dentre outros, que possam conduzir às soluções que melhor compatibilizem as premissas acima mencionadas (PORTO *et al.*, 1999). Para consecução deste intento, é importante que os gestores públicos sejam munidos de instrumentos de análise econômica que facilitem o processo de tomada de decisão, como é o caso dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (VIEGAS FILHO, LANNA e MACHADO, 1999).

3.4 Panorama do uso múltiplo de reservatórios no Brasil

O Brasil, maior produtor de hidreletricidade da América Latina, possui aproximadamente 600 barragens e está planejada, como parte da ampliação da capacidade nacional de geração, a construção de 432 novas barragens até 2015, principalmente na bacia do rio Tocantins, na Amazônia e na região Sul (SILVA, 2001). A construção de reservatórios atingiu seu desenvolvimento máximo no país nas décadas de 1960 e 1970⁵³, quando as grandes barragens e centrais hidrelétricas eram consideradas símbolos do desenvolvimento energético.

Acreditava-se que estes projetos eram de baixo impacto em virtude da possibilidade de agregar usos múltiplos, sem oferecer riscos ambientais, como a emissão de poluentes. Na maioria dos casos, entretanto, a prioridade dada à geração de energia elétrica relegou ao esquecimento as ações complementares dos projetos como criação de áreas de aquicultura e de lazer.

Neste período foram construídas várias barragens em cascata nos rios Paranaíba, Grande, Tietê e Paranapanema e Paraná (GOMES e MIRANDA, 2001). No entanto, reservatórios desse tipo produzem impactos acumulativos, alterando as

⁵³ O quadro 1A, apresentado no anexo A, mostra uma evolução histórica do aproveitamento da água no Brasil e em países desenvolvidos.

características biogeofísicas, econômicas e sociais de todo o rio⁵⁴ (RODGHER *et al.*, 2002).

O Estado de São Paulo possui reservatórios em sistema do tipo cascata, com várias represas subseqüentes, formando um conjunto que recebe e acumula materiais orgânicos e inorgânicos provenientes dos sistemas adjacentes⁵⁵. Eles apresentam, atualmente, papel social e econômico expressivo em função da sua localização no centro de um importante sistema agrícola e industrial do País (RODGHER *et al.*, 2002).

Outro aspecto inerente aos reservatórios em cascata é a influência na navegação. O desenvolvimento da atividade tem sido prejudicado devido à ausência de uma política para o uso compartilhado dos rios, essencial para um país como Brasil, que possui 93% de sua energia gerada em usinas hidrelétricas (UHE). Um planejamento integrado teria evitado que várias barragens fossem construídas sem eclusas⁵⁶ (DANTAS, 2002).

A Hidrovia Tietê-Paraná pôde ser desenvolvida graças a uma lei estadual estabelecendo que todas as usinas construídas em São Paulo passariam a contar com verbas correspondentes a 20% do valor total do empreendimento para a construção de eclusas de navegação. “A construção de barragens eclusadas permite o desenvolvimento de outras atividades além da geração de energia, como o transporte, a agricultura e o turismo” (DANTAS, 2002).

Além dos reservatórios em cascata, as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) podem influenciar o uso dos recursos hídricos. Estas usinas são concebidas para funcionar com as vazões mínimas que ocorrem nos mananciais, geralmente vazões com 90 a 95% de permanência no tempo (CRUZ e FABRIZY, 1995).

A baixa exigência de volumes de água e a redução das áreas alagadas são consideradas características positivas das PCHs. Por outro lado, elas podem acarretar um racionamento dos usos consuntivos a montante desses empreendimentos. Em regiões agrícolas, a exemplo do cerrado, esse tipo de conflito

⁵⁴ Estudos desenvolvidos na Espanha evidenciam que, em uma cascata de barragens em um mesmo rio, onde as entradas de um reservatório são, em parte, reguladas pelas saídas do reservatório de montante, espera-se um efeito crescente de controle em relação à qualidade de água. Porém, dependendo dos usos e da ocupação da bacia hidrográfica, o efeito pode não ser observado (RODGHER *et al.*, 2002).

⁵⁵ Dentre esses, destaca-se o sistema Tietê, que inclui os reservatórios de Barra Bonita, Mário Lopes Leão (Promissão) e Três Irmãos.

⁵⁶ A construção das eclusas a *posteriori* gera um custo que pode ser até 10 vezes maior do que se a obra fosse realizada junto com a da usina (DANTAS, 2002).

é muito comum, pois na época de estiagem as culturas requerem uma quantidade muito maior de água e as vazões dos cursos de água estão naturalmente menores. Logo, as usinas dimensionadas para vazões mínimas são forçadas a reduzir ou interromper a operação porque a quantidade de água requerida para seu funcionamento foi consumida pelos perímetros irrigados a montante (SILVA, 2001).

Alguns exemplos de usos de reservatórios são apresentados no quadro 3. Percebe-se que alguns reservatórios brasileiros foram construídos para o atendimento de múltiplas finalidades, enquanto outros, em função das transformações e do surgimento de novas necessidades, implantaram outros usos além daqueles previstos. Esta situação ocorre na Usina Hidrelétrica Itaipu, que, segundo Oliveira *et al.* (2005), é utilizada para finalidades secundárias como piscicultura, navegação, turismo e abastecimento humano.

Quadro 3 – Usos de reservatórios no Brasil

Empreendimento	Aspectos Gerais
UHE do Lobo	Situa-se entre os municípios de Brotas e Itirapina (SP). Foi inaugurada em 1936, para produção de energia elétrica. Atualmente, também é usado para pesca e recreação.
Reservatório de Mogi-Guaçu	Foi construído com o principal objetivo de resolver o problema de enchentes na região ⁵⁷ . Também foi planejado para abastecimento de água das cidades de Mogi-Guaçu e Mogi-Mirim (SP). Além disso, recentemente, a prefeitura está implantando, às margens do reservatório, um centro de lazer.
Barragem do Fogareiro	Construída pelo DNOCS, no ano de 1996, em Quixeramobim (CE). Perenizou o leito do rio a jusante do reservatório, normalizou o abastecimento de água na cidade e permitiu o desenvolvimento em maior escala da agricultura irrigada.
Reservatório de Salto Grande	Situado no município de Americana (SP), quase todos os seus usos foram impedidos, exceto a geração de energia elétrica, em função de um processo de eutrofização extremamente elevado. Além da perda de qualidade da água, ocorreram vários problemas de caráter econômico e social na região, como a desvalorização dos imóveis e o aumento da criminalidade.
Barragem Carro Quebrado ou Passagem de Areia	Está localizada no município de Barra do Mendes (MG). Seus objetivos iniciais eram a irrigação e o abastecimento de água da cidade, porém o projeto original encontra-se em reformulação. A mudança visa a um maior aproveitamento do potencial hídrico da bacia, obtendo-se a partir daí melhores resultados sócio-econômicos, propiciando o abastecimento, irrigação e piscicultura, dentro das limitações do empreendimento. Verificou-se também a possibilidade da barragem vir a contribuir para perenização do Rio Jacaré.
Barragem de Iguitu	Localiza-se no povoado de mesmo nome, a 32 km da sede do município de Ibipêba (MG). O objetivo de sua construção é o aproveitamento múltiplo do reservatório para a irrigação e abastecimento de água.
Barragem de Mirorós	Foi construída na bacia do alto rio Verde (MG), objetivando fundamentalmente o abastecimento de água local, assim como a irrigação e regularização do rio Verde.
UHE de Piraju	O lago da usina será aproveitado para atividades de turismo e lazer, como a pesca esportiva.
UHE de Paranapanema	Construída em 1925 no rio Panapanema, junto à cidade de Piraju (SP). Hoje, além da geração de energia elétrica, o lago é utilizado para a prática de esportes náuticos, turismo e lazer.
UHE Água Vermelha	Situa-se no rio Grande, entre os municípios de Guarani d'Oeste e Iturama (SP), é um projeto de aproveitamento múltiplo voltado para a geração de energia elétrica e a regularização de vazões.

⁵⁷ O município vinha enfrentando graves problemas de inundação no centro da cidade na época das chuvas.

Quadro 3 – Usos de reservatórios no Brasil (Continuação)

Empreendimento	Aspectos Gerais
UHE Nova Avanhandava	Localiza-se no rio Tietê, no município de Buritama (SP). Além da geração de energia elétrica, é utilizada para navegação.
UHE de Irapé	Está sendo construída no rio Jequitinhonha, entre os municípios de Berilo e Grão Mogol (MG). A formação do reservatório de 137 km ² potencializará a vocação turística da região, além de se constituir em área de lazer para a população. O barramento regularizará a vazão do rio e incrementará o abastecimento de água dos municípios próximos da sua margem. Significa, também, uma nova opção de travessia do rio Jequitinhonha.
Barragem de Iraí	Barragem de terra construída no município de Piraquara, região metropolitana de Curitiba (PR). Destina-se a reforçar o abastecimento de água da cidade. A barragem também protege as áreas à jusante contra cheias e tornou-se uma boa opção de lazer para a população.
Reservatório de Castanhão	Localizado no Ceará, a obra permitirá a irrigação de 43.000 ha, a geração de energia e o controle das cheias, além de impulsionar setores como a pesca e o turismo.
Usina de Xingó	Instalada no rio São Francisco, seu reservatório representa uma fonte de turismo para a região através da navegação no trecho entre Paulo Afonso e Xingó, além de prestar-se ao desenvolvimento de projetos de irrigação e ao abastecimento de água para a cidade de Canindé/SE.
UHE Luiz Gonzaga	Posicionada 50 km a montante do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso, no rio São Francisco, possui, além da função de geração de energia elétrica, a de regularização de vazões.
UHE Curemas	Localiza-se na cidade de Coremas (PB). Possui uma característica múltipla de geração de energia e irrigação na própria bacia e no alto rio Piranhas, através de transposição.
UHE Sobradinho	Posicionada no rio São Francisco, possui, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região.
Corumbá IV	Inaugurada no dia 04.02.06, a usina situa-se no município de Luziânia (GO) e tem a capacidade para gerar 127 megawatts de energia, o suficiente para suprir uma cidade de 250 mil habitantes ou 15% de toda energia consumida no DF. A água do lago também será usada para o abastecimento de toda a população do Distrito Federal e cidades do Entorno nos próximos 100 anos. Além disso, o lago deverá abrigar um grande complexo turístico.

Fonte: Elaboração da autora com base em Carvalho *et al.* (2002), Leite e Espíndola (2002) e CODEVASF (2005).

Existe um projeto para o aproveitamento múltiplo dos reservatórios existentes na bacia do rio São Francisco que aumentará a geração de benefícios ao conjunto de usuários da água. A proposta consiste em otimizar o sistema com funções objetivo energéticas, considerando outros usos na forma de restrições. Haverá, contudo, a preservação da representação em reservatórios individualizados, e a operação se dará em uma escala de tempo adequada para os usos múltiplos. Com esse tipo de abordagem será possível estimar as curvas de troca entre os objetivos considerados conflitantes, essencialmente geração, irrigação e controle de cheias (BRASIL, 2005).

Ao se considerar a quantidade, qualidade, distribuição espacial e permanência temporal da água requerida, percebe-se que o rio São Francisco não dispõe dessa vazão excedente. Será necessária, portanto, a interligação de outros mananciais com o rio São Francisco para então implementar o Sistema de Abastecimento Hídrico para Uso Múltiplo (CODEVASF, 2005).

Esse sistema distribuirá água em quantidade e qualidade para o abastecimento humano e animal e o desenvolvimento de atividades produtivas. Além disso, gerará energia elétrica aproveitando as quedas existentes; permitirá o controle das cheias e melhorará as condições de navegabilidade na hidrovia São Francisco (CODEVASF, 2005).

Ao final deste capítulo, é possível concluir que o manejo de um sistema aquático é uma tarefa árdua em virtude da necessidade de se obter o melhor proveito a curto prazo e preservá-lo ao longo do tempo (PRADO, 2002). Logo, torna-se imprescindível a busca de formas integradas para promover o equilíbrio entre a qualidade ambiental e as atividades humanas dentro de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável.

Não obstante os inúmeros impactos causados, os reservatórios se apresentam como opções eficazes à manutenção do progresso material das populações e compatíveis com o desenvolvimento sustentável (ROSA e LINK, 2000). Deste modo, a construção de barragens deve ser bem planejada para que as finalidades para as quais os empreendimentos forem concebidos sejam plenamente atendidas. Adicionalmente, deve-se assegurar que os reservatórios formados prestem-se a uma multiplicidade de usos, efetivos e potenciais, de modo que os impactos positivos sobre o ambiente em que está inserido possam superar os impactos negativos (SÁ, 2001).

4 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS E USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS: A ESCOLHA DO *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*

4.1 Seleção do método

Muitas situações de tomada de decisão, em um ambiente participativo, envolvem a seleção de alternativas, eventos ou cursos de ação. No entanto, os agentes tomadores de decisão, geralmente, possuem pontos de vista conflitantes e diferentes juízos de valores. Torna-se necessário, portanto, que estas diversidades sejam integradas (SCHMOLDT, PETERSON e SMITH, 1995).

Os métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD) aparecem como uma opção para consecução desse propósito. Eles provêm um maior entendimento do contexto multidisciplinar do processo decisório; efetuam a análise da decisão e testam a sua robustez; recomendam um curso de ações ou selecionam a melhor ação a ser implementada; validam a análise da decisão – avaliação *ex post* – e organizam as informações para decisões futuras (GOMES, 1998).

Esses métodos podem, por conseguinte, ser utilizados para: (a) identificar a melhor opção, (b) ordenar as opções, (c) listar um número limitado de alternativas para uma subsequente avaliação detalhada, ou (d) simplesmente distinguir as possibilidades aceitáveis das inaceitáveis⁵⁸ (DODGSON *et al.*, 2001; ALMASRI e KALUARACHCHI, 2005). Diante da variedade métodos multicritérios existentes⁵⁹ e da multiplicidade de características inerentes a cada um, torna-se imprescindível selecionar aquele que melhor se adequa a esta pesquisa.

Segundo Gartner (2001), esta escolha pode ser feita em função do tipo de problema de decisão. Ele afirma que os problemas normalmente se enquadram em um dos quatro tipos apresentados no quadro 4 e exhibe no quadro 5 os métodos adequados a cada tipo de problema.

⁵⁸ Métodos como o ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*) fornecem apenas a ordenação das alternativas, com base em princípios de dominância, enquanto que outros métodos apresentam, além da ordenação, o desempenho global das alternativas em função dos critérios considerados (SALOMON, MONTEVECHI e PAMPLONA, 1999).

⁵⁹ Podem ser citados AHP, ELECTRE, MACBETH, MAHP, PROMETEE, ANP, TOPSIS, VIP, ELECALC, entre outros.

Quadro 4 – Tipos de problemas de decisão

Tipo de problema	Característica	Representação
Escolha	Seleção de somente uma das alternativas	α
Triagem	Escolha de todas as boas alternativas	β
Classificação	Escolha de algumas das melhores alternativas	γ
Descrição	Descrição das alternativas e suas conseqüências	δ

Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

Quadro 5 – Métodos multicritérios adequados a cada tipo de problema de decisão

Grupo de MMAD	Método	Tipo de problema
Métodos de critério único de síntese	TOPSIS	α
	MAVT	α
	UTA	α
	SMART	α
	MAUT	α
	AHP	α
	EVAMIX	α, χ
	Soma ponderada difusa	α, χ
	Maxmin difuso	α
Métodos <i>Outranking</i>	ELECTRE I	α
	ELECTRE II	α
	ELECTRE III	χ
	ELECTRE IV	χ
	ELECTRE TRI	χ
	PROMETHEE I	β
	PROMETHEE II	χ
	MELCHIOR	χ
	ORESTE	χ
	REGIMA	χ
NAIADE	χ	

Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

Ao analisar as características dos tipos de problema indicados no quadro 4, percebe-se que os mesmos não são excludentes. Isto ocorre porque, para seleção de somente uma das características, ou para a escolha de todas as boas alternativas ou de algumas das melhores alternativas, devem ser conhecidas previamente todas as alternativas e suas conseqüências. Antes de adotar esse procedimento para seleção do método a ser empregado nesta pesquisa, optou-se por analisar as características de desempenho dos MMAD mais utilizados.

Salomon e Montevechi (2001) apresentam as comparações efetuadas por Zanakis *et al.* (1998) entre os métodos AHP, TOPSIS e ELECTRE. Saunders (1994) analisou as características técnicas dos métodos SJT, MAUT, AHP e PA. Já Guglielmetti, Marins e Salomon (2003) avaliaram alguns MMAD de acordo com determinadas características de desempenho, como pode se observar no quadro 6. Analisando as informações contidas nesse quadro, percebe-se que o método ELECTRE possui várias restrições, enquanto o AHP se destaca principalmente pelas características relacionadas à interface “tomador de decisão X método”.

Quadro 6 – Comparação teórica entre métodos multicritérios de análise de decisão.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO	AHP	MAHP	ELECTRE
ENTRADA DE DADOS			
Utilização em decisões com vários níveis	Sim	Sim	Não
Restrições à quantidade de elementos em um nível	Sim	Não	Não
Quantidade de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas	Alta	Média a alta	Baixa
Necessidade de processar os dados antes de seu uso	Não	Sim	Sim
Permite tratar dados quantitativos e qualitativos	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de lidar com problemas do tipo técnico	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de tratar critérios e alternativas dependentes	Não	Não	Não
Permite criar escalas de julgamento conforme o contexto	Não	Sim	Não
SAÍDA DE DADOS			
Problemas com alocação em conjuntos	Não	Não	Não
Problemas com avaliação de desempenho	Sim	Sim	Não
Problemas com avaliação de desempenho em classes	Não	Não	Não
<i>Ranking</i> completo de alternativas	Sim	Sim	Não
Soluções muito refinadas	Sim	Sim	Não
Somente eliminação de algumas alternativas	Não	Não	Sim
Permite a avaliação de coerência dos julgamentos	Sim	Não	Não
INTERFACE TOMADOR DE DECISÃO X MÉTODO			
Disponibilidade de <i>software</i> para <i>download</i> gratuito	Sim	Não	Não
Necessidade de um especialista no método utilizado	Média	Alta	Média
Utilização de decisões em grupo	Sim	Sim	Não
Permissão para a participação de mais de uma pessoa na decisão	Sim	Sim	Sim
Facilidade para estruturar o problema	Alta	Média	*
Possibilita o aprendizado sobre a estrutura do problema	Sim	Sim	*
Nível de compreensão conceitual e detalhado do modelo	Alto	Médio	Baixo
Nível de compreensão referente à forma de trabalho	Alto	Alto	Baixo
Transparência no processamento e nos resultados	Alta	Baixa	Média
Quantidade de aplicações práticas	Alta	Baixa	Baixa
Número de publicações científicas	Alta	Baixa	Média
* Não há estudos que tratem especificamente do assunto			

Fonte: Adaptado de Guglielmetti, Marins e Salomon (2003).

Para a escolha do método apropriado ao desenvolvimento desta pesquisa, além de considerar as informações contidas no quadro 6, realizou-se um estudo profundo da literatura disponível sobre os MMAD. Neste intento, foram considerados principalmente os seguintes aspectos: consistência, lógica, transparência, facilidade de uso, quantidade de aplicações práticas e publicações científicas, tempo requerido para o processo de análise e disponibilidade de *software*.

Seguindo esses critérios, chegou-se à conclusão de que o método mais adequado é o *Analytic Hierarchy Process*⁶⁰ (AHP). Ele possui vários atributos desejáveis para a realização do estudo proposto como: a) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido; b) é aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos; c) utiliza tanto dados quantitativos como qualitativos; d) provê medidas de consistência das preferências; e) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica⁶¹; f) seu uso é apropriado para grupos de decisão (JIANYUAN, 1992; STEIGUER, DUBERSTEIN e LOPES, 2005).

O AHP, por conseguinte, será utilizado para o desenvolvimento de um modelo⁶² que auxilie os tomadores de decisão nas questões relativas ao uso multipropósito da água. Busca-se, desse modo, uma melhor inserção regional dos reservatórios existentes ou em construção, visando melhorias sociais, econômicas e ambientais, com o uso múltiplo da água e da infra-estrutura desses empreendimentos.

⁶⁰ Apesar de o AHP ser indicado para problemas que envolvam a seleção de somente uma das características (problemas do tipo α , conforme quadro 4), aplicações adaptadas à seleção de algumas das melhores alternativas (problemas do tipo γ) foram feitas com sucesso.

⁶¹ Existem inúmeras aplicações do AHP em situações complexas de decisão. Contudo, segundo Schmoldt, Kangas e Mendoza (2001) em Steiguer, Duberstein e Lopes (2005) a aplicação do AHP a problemas relacionados a recursos naturais é "surpreendentemente limitada".

⁶² Modelo é a representação de um fenômeno. Pode ser manipulado fisicamente, no caso de modelos físicos, ou matematicamente, no caso de um modelo hierárquico, para identificar as influências importantes (TIPEC, 2005).

4.2 Analytic Hierarchy Process – AHP

4.2.1 Aspectos gerais

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão⁶³ (ABREU *et al.*, 2000). Ele é aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão⁶⁴ nos contextos: econômico, político, social e ambiental⁶⁵, devido a sua simplicidade, robustez⁶⁶ e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis (BARBAROSGLU e PINHAS, 1995; SHIAU *et al.*, 2002).

Conseqüentemente, é um dos métodos mais conhecidos e utilizados mundialmente (JANSEN L., SHIMIZU e JANSEN J., 2004). Das aplicações do AHP a problemas ambientais, especialmente aqueles relacionados a recursos hídricos, Gartner (2001) destaca: planejamento de bacias hidrográficas, ponderação dos critérios de avaliação de desempenho de um sistema de irrigação, avaliação de impactos ambientais de projetos hídricos e planejamento de estratégias energéticas.

O AHP baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas com a realização de comparações par a par (*pairwise comparisons*) (TOMA e ASHARIF, 2003). Trata-se de uma abordagem flexível que utiliza a lógica aliada à intuição, com a finalidade de obter julgamentos através de consenso⁶⁷ (SCHMIDT, 1995). Seu uso é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais por meio da avaliação

⁶³ Para Saaty (1991) em Pamplona (1999), o AHP “reflete o que parece ser um método natural de funcionamento da mente humana”. Suas bases de sustentação são a economia e a psicométrica (CHOIRAT e SERI, 2001).

⁶⁴ Sua aplicação se estende a várias áreas como: planejamento estratégico, marketing, avaliação do nível de consenso do grupo, escolha de financiamento no transporte aéreo, programas de qualidade e produtividade, análise de projetos (ABREU *et al.*, 2000). Destaca-se ainda seu emprego em diversas situações como: avaliação de custos e benefícios, alocação de recursos, medida de desempenho (*benchmarking*), pesquisa de mercado, determinação de requisitos, decisões estratégicas, negociação e resolução de conflitos, entre outras (JANSEN L., SHIMIZU e JANSEN J., 2004).

⁶⁵ O método AHP é considerado um procedimento adequado e eficaz para valorar os recursos naturais (DOMÉNECH e ROMERO, 1999). Exemplos de aplicações na área de recursos hídricos são relatados por Jandric e Srdjevic (2000) em Srdjevic *et al.* (2000).

⁶⁶ O AHP possui uma sólida base matemática (TIPEC, 2005).

⁶⁷ A simplicidade e a lógica intuitiva do AHP facilitam a participação de vários tomadores de decisão e até mesmo estimulam seu envolvimento em sessões de *brainstorming* que podem melhorar o conhecimento coletivo e a eficiência do grupo de decisão (SRDJEVIC *et al.*, 2002).

de um conjunto de critérios⁶⁸ (ASAHI, TURO e SHNEIDERMAN, 1994; FINNIE e WITTIG, 1999; KIM, 1999).

4.2.2 Funcionamento

A aplicação do método AHP pode ser dividida em duas fases: estruturação e avaliação⁶⁹ (VARGAS, 1990 em ABREU *et al.*, 2001). A primeira envolve a decomposição do problema em uma estrutura hierárquica⁷⁰ que mostra as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e as alternativas que envolvem a decisão. Relaciona-se, portanto, à apresentação, descrição e justificativa do problema e pontos de vista e, conseqüentemente, à busca do consenso. A segunda fase – avaliação – é caracterizada pela definição do tipo de problema a ser adotado⁷¹, determinando assim se as ações serão: a) analisadas em termos relativos⁷² ou absolutos⁷³; b) ordenadas ou escolhidas, c) aceitas ou rejeitadas (BANA E COSTA, 1993b em SCHMIDT, 1995).

Essencialmente, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), procura decompor um problema em uma estrutura hierárquica descendente⁷⁴ que se assemelha a uma árvore genealógica, como mostra a figura 10 (GOMES e MOREIRA, 1998; SAATY, 1980 em SCHMOLDT e PETERSON, 1997). As hierarquias geralmente são utilizadas em situações que envolvem incerteza, a exemplo dos problemas ambientais, e devem ser construídas de forma que: a) incluam todos os elementos importantes para a avaliação, permitindo que, se necessário, eles possam ser modificados ao longo do processo; b) considerem o ambiente que cerca o problema;

⁶⁸ Critérios são medidas, regras e padrões que guiam a decisão (SCHMIDT, 1995).

⁶⁹ Alguns autores dividem a aplicação do AHP em três fases: estruturação, julgamentos comparativos e síntese das prioridades.

⁷⁰ Hierarquia é uma estrutura de dominância estratificada para representar a extensão das influências (TIPEC, 2005).

⁷¹ Ver quadro 4.

⁷² Cada ação é avaliada para se efetuar uma escolha ou uma ordenação por agregação de informações. Deve ter, pelo menos, um par de ações, que pode ser avaliado no sentido de "ordenar" ou "escolher". A escolha ou não de uma ação ou a sua posição numa ordenação, só tem sentido se confrontada com as outras ações (SCHMIDT, 1995).

⁷³ A análise é orientada para obtenção de informações sobre o valor intrínseco de cada ação em relação a uma ou várias normas. Pode limitar-se a avaliação de uma só ação ou tratar-se de um modelo de definição "aceitar" ou "rejeitar" (SCHMIDT, 1995).

⁷⁴ No AHP, a hierarquia é estruturada do objetivo geral para os critérios/indicadores, subcritérios e alternativas em níveis sucessivos (SCHMIDT, 1995).

- c) identifiquem as questões ou atributos que contribuam para a solução, d) identifiquem os participantes envolvidos com o problema.

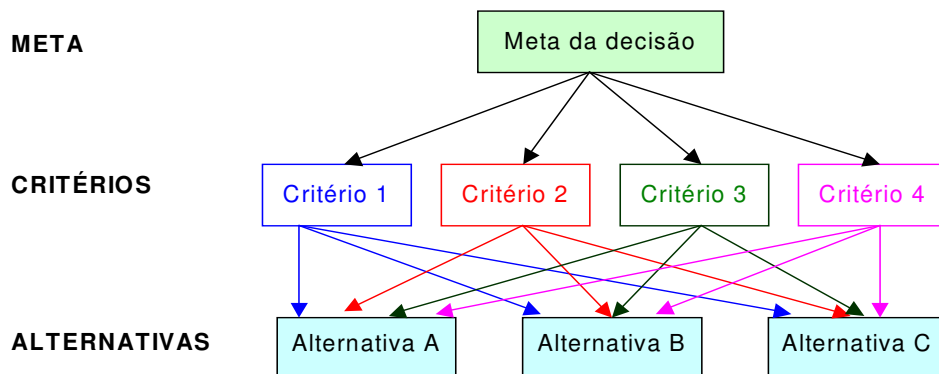


Figura 10 – Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão.
Fonte: Gartner (2001).

Os principais *inputs* para a construção de uma hierarquia são as respostas obtidas para uma série de perguntas que, normalmente, possuem a forma geral: “Qual é a importância do critério 1 em relação ao critério 2?”⁷⁵ (DODGSON *et al.*, 2001). Esse procedimento, conhecido por comparação par a par⁷⁶ (*pairwise comparison*), é utilizado para estimar a escala fundamental unidimensional em que os elementos de cada nível são medidos (SAATY, 1986).

O método, portanto, baseia-se na comparação entre pares de critérios e sub-critérios, se existirem, e na construção de uma série de matrizes quadradas, onde o número na linha i e na coluna j dá a importância do critério C_i em relação à C_j , como se pode observar na forma matricial indicada abaixo e no quadro 7 (KATAYAMA, KOSHIISHI e NARIHISA, 2005).

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & a_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & a_{j3} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

⁷⁵ No AHP, perguntas deste tipo podem ser utilizadas tanto para estabelecer pesos para os critérios, quanto medidas de desempenho para alternativas em diferentes critérios (DODGSON *et al.*, 2001).

⁷⁶ Comparações entre pares de critérios/indicadores.

Quadro 7 – Matriz de comparações par a par

CRITÉRIOS	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _j
C ₁	1	a ₁₂	a ₁₃	...	a _{1j}
C ₂	a ₂₁ = 1/a ₁₂	1	a ₂₃	...	a _{2j}
C ₃	a ₃₁ = 1/a ₁₃	a ₃₂ = 1/a ₂₃	1	...	a _{3j}
...	1	...
C _j	a _{j1} = 1/a _{1j}	a _{j2} = 1/a _{2j}	a _{j3} = 1/a _{3j}	...	1

Fonte: Elaboração da autora com base em Pamplona (1999).

Nessas matrizes, a_{ij} indica o julgamento quantificado do par de critérios (C_i, C_j). As seguintes condições devem ser atendidas (ABREU *et al.*, 2000; PAMPLONA, 1999):

- I) se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$;
- II) se C_i é julgado como de igual importância relativa a C_j, então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$ e $a_{ii} = 1$, para todo i .

As comparações par a par, expressas em termos lingüísticos/verbais, são convertidas em valores numéricos usando a Escala Fundamental de Saaty para julgamentos comparativos, onde a quantificação dos julgamentos é feita utilizando-se uma escala de valores⁷⁷ que varia de 1 a 9, como exhibe o quadro 8 (BORITZ, 1992; SCHMIDT, 1995). Desta forma, é medido o grau de importância do elemento de um determinado nível sobre elementos de um nível inferior (THIRUMALAVAIAN e KARMEGAM, 2001).

⁷⁷ Saaty fez experiências com várias escalas e concluiu que a escala de nove valores fornece flexibilidade suficiente para diferenciar dois elementos. Porém, não há nenhum empecilho para a utilização de outras escalas de julgamento (SCHMIDT, 1995).

Quadro 8 - Escala Fundamental de Saaty para comparação par a par

Valores numéricos	Termos verbais	Explicação
1	Igualmente importante	Dois elementos têm importância igual considerando o elemento em nível mais alto
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um elemento
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente um elemento
7	Muito fortemente mais importante	Elemento fortemente favorecido. A dominância de um elemento é provada na prática
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece um elemento em relação a outro com grau de certeza mais elevado
2, 4, 6, 8	Valores importantes intermediários	Quando se deseja maior compromisso. É necessário acordo.
Recíprocos dos valores acima	Se o elemento j recebe um dos valores acima, quando comparado com o elemento i , então j tem o valor recíproco de i .	Uma designação razoável

Fonte: Saaty (1986).

Em seguida, as matrizes são submetidas ao cálculo do autovetor, que calcula os pesos locais e globais para cada critério nos diversos níveis hierárquicos e em relação às alternativas em análise (LISBOA e WAISMAN, 2003). O autovetor da matriz pode ser estimado pela expressão 1 (SAATY, 2001; PAMPLONA, 1999):

$$W_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Segundo Laininen e Hämäläinen (1999), os resultados obtidos com a utilização desta fórmula devem ser normalizados. O processo consiste no cálculo da proporção de cada elemento em relação à soma, como pode se observar na expressão 2, onde T é o autovetor normalizado.

$$T = |W_1/\sum W_i \quad W_2/\sum W_i \quad \dots \quad W_n/\sum W_i| \quad (2)$$

Isto resulta no autovetor de prioridades para ordenação. Esta operação deve ser repetida até que a diferença entre o resultado normalizado da última

operação seja bem próxima do resultado da operação precedente o que ocorre, por exemplo, com diferenças pequenas após a terceira casa decimal (SAATY, 2001).

O autovetor, por conseguinte, fornece a hierarquia ou ordem de prioridade das características estudadas. A qualidade ou consistência da solução obtida, entretanto, deve ser testada com o cálculo do autovalor. Esta medida indica se os dados estão logicamente relacionados (PAMPLONA, 1999). Saaty (2001) em Pamplona (1999) propõe o seguinte procedimento:

a) Estima-se inicialmente o autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) por meio da expressão 3, onde w é calculado pela soma das colunas da matriz de comparações.

$$\lambda_{\text{máx}} = T \cdot w \quad (3)$$

b) Calcula-se o Índice de consistência (IC) por meio da expressão 4, onde n representa a ordem da matriz.

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

c) A razão de consistência⁷⁸ (RC) é calculada com a equação 5, onde CA é a um índice de consistência aleatória (CA), apresentado no quadro 9, proveniente de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de tamanho até 11 por 11, geradas aleatoriamente.

$$RC = IC/CA \quad (5)$$

Quadro 9 – Valores da consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Pamplona (1999).

Considera-se aceitável uma razão de consistência menor que 0,10. Para valores de RC maiores que 0,10 sugere-se uma revisão na matriz de comparações (CHEN, GUSTAFSON e LEE, 2002).

Para determinação do nível de preferência das alternativas, estas devem ser comparadas par a par em cada um dos critérios, de modo análogo ao descrito

⁷⁸ Segundo Saaty (1990) em Finnie e Wittig (1999), a razão de consistência identifica aquelas comparações onde uma revisão do julgamento deveria ser considerada. Esta taxa simplesmente reflete a consistência das comparações par a par.

para a obtenção da importância relativa dos critérios. Com estas importâncias relativas e os níveis de preferência das alternativas, efetua-se, em seguida, a valoração global de cada uma das alternativas, de acordo com o método da soma ponderada, expresso pela equação 6, onde: $V(a)$ corresponde ao valor global da alternativa analisada; p_j à importância relativa do critério j e v_j ao nível de preferência da alternativa analisada no critério j (ABREU *et al.*, 2000).

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j v_j(a) \quad \text{com} \quad \sum_{j=1}^n p_j = 1 \text{ e } 0 < p_j < 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (6)$$

Com a execução de todos os procedimentos descritos obtêm-se subsídios consistentes para a tomada de decisão sobre um problema complexo. Entretanto, alguns autores costumam descrever a aplicação do método de forma esquemática, dividindo o processo de execução do AHP em etapas ou rotinas básicas de execução, como pode se observar nos quadros 10 e 11. A figura 11 sintetiza as etapas de execução do AHP.

Quadro 10 – Processo de execução do AHP

Etapas de execução do AHP ⁷⁹	Passos de execução do AHP ⁸⁰
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenvolvimento dos níveis de hierarquia de decisão dos elementos inter-relacionados; 2. Determinação de preferências por meio de comparações par a par; 3. Síntese e determinação de prioridade relativa ou peso de cada elemento de decisão em um dado nível, usando o método do autovalor ou outro método de aproximação, 4. Agregação das prioridades relativas para a escolha final. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer o contexto da decisão; 2. Identificar as opções; 3. Identificar os objetivos e critérios que refletem os valores associados com as conseqüências de cada opção; 4. Descrever o desempenho esperado de cada opção em relação aos critérios; 5. Atribuição de pesos; 6. Combinação de pesos e ordens de classificação para as opções visando derivar o valor global; 7. Exame dos resultados; 8. Análise de sensibilidade dos resultados para mudanças nas classificações ou pesos.

Fonte: Elaboração da autora.

⁷⁹ Segundo Drake (1998), Jansen L., Shimizu e Jansen J. (2004) e Steiguer, Duberstein e Lopes (2005).

⁸⁰ Segundo Dodgson *et al.* (2001).

Quadro 11 – Rotinas para tomada de decisão com o apoio do AHP

ROTINAS	SUB-ROTINAS	COMENTÁRIOS
1. Definição do problema e pesquisa	Identificação do problema	A escolha do problema a ser analisado é feita dentre aqueles considerados importantes e complexos.
	Identificação dos critérios e alternativas	Os fatores que influenciam em um problema são chamados de critérios. De maneira geral, o AHP estrutura um problema em uma hierarquia descendente: objetivo geral, critérios e alternativas.
	Pesquisa sobre as alternativas	A análise das alternativas é objeto de <i>brainstorming</i> , amplas discussões, pesquisas, e compartilhamento de idéias e pontos de vista. Como a tomada de decisão é um processo interativo, é importante tentar identificar os critérios ou objetivos importantes para o problema, mas mantendo uma hierarquia é adaptável que deve ser grande o suficiente para representar suas maiores preocupações e pequena o suficiente para reagir a mudanças.
2. Eliminação das alternativas inexecutáveis	Determinação dos “ <i>musts</i> ”	Decisão de quais critérios são necessários e suficientes.
	Eliminação das alternativas que não satisfazem os “ <i>musts</i> ”	Eliminação das alternativas que não satisfazem todos os critérios considerados “ <i>musts</i> ”.
3. Estruturação do modelo		Não há um modelo correto para decisão. Indivíduos informados sobre um problema particular podem estruturar hierarquias diferentes. Porém, seus julgamentos e suas respostas globais finais serão similares, pois o processo é robusto. Em outras palavras, distinções sutis entre hierarquias, na prática, tendem a não ser decisivas.
4. Realização dos julgamentos	Realização dos julgamentos	Após a construção do modelo o analista irá comparar os elementos de cada nível da hierarquia. Os julgamentos podem ser realizados dos critérios para as alternativas ou das alternativas para os critérios.
	Base das comparações aos pares	Os julgamentos são feitos com base em pares de elementos. É através de uma multiplicidade de comparações par a par que o conhecimento sobre os elementos de um modelo é construído. Logo, a redundância destas comparações aos pares eleva a precisão da análise.

Quadro 11 – Rotinas para tomada de decisão com o apoio do AHP (continuação)

ROTINAS	SUB-ROTINAS	COMENTÁRIOS
5. Síntese	Síntese	Os julgamentos são sintetizados por meio do modelo utilizando os pesos e adicionando o processo que deriva os pesos globais das alternativas. A melhor alternativa é aquela de maior prioridade.
6. Verificação da decisão	Verificação da decisão	Deve ser verificado se a intuição sobre a melhor alternativa está de acordo com a alternativa selecionada. Se não estiver, a estrutura, o critério e julgamento do modelo devem ser reexaminados. Caso o modelo ou estrutura, critério, ou alguns dos seus julgamentos precisem de modificação, é preciso retornar ao modelo.
	Realização de <i>what – if</i> ⁸¹ ou análise de sensibilidade	Um modelo pode ser sempre alterado para acomodar critérios que não haviam sido pensados ou não foram considerados importantes na primeira análise do problema. Depois de entrar com os julgamentos e ter todas as prioridades das alternativas, ainda é possível aparecerem algumas dúvidas sobre a decisão final. Neste caso, pode ser construído um ou vários modelos para uma visão alternativa do problema, ou simplesmente retornar ao modelo já criado e alterar os julgamentos.
7. Apresentação e documentação da decisão	Documentação do cenário da decisão	A documentação pode justificar as conclusões para outros ou refletir na decisão no futuro, permitindo, assim, um processo de melhoria continua na tomada de decisão.
	Apresentação do cenário da decisão	Podem ser analisados os critérios utilizados, a importância relativa dos critérios e a preferência pelas alternativas com relação a cada critério.

Fonte: Elaboração da autora com base em TIPEC (2005).

⁸¹ Verificação do que acontece com as saídas se as prioridades dos critérios principais mudarem.



Figura 11 – Etapas de execução do AHP
 Fonte: Elaboração da autora

4.2.3 Aplicações em situações reais

Diversos artigos científicos relatam o emprego do método em situações reais, como pode se observar no quadro 12. Outros exemplos de suas aplicações práticas por instituições públicas e privadas foram listados no quadro 13. Analisando os referidos quadros, percebe-se que o AHP tem sido amplamente utilizado em diversas áreas para: seleção de uma alternativa entre várias, alocação de recursos, gerenciamento da qualidade total, processos de reengenharia, análise prospectiva e *balanced scorecard*.

É importante salientar, entretanto, que não foi encontrado nenhum caso em que o método tenha sido empregado para solução de problemas relacionados a

uso múltiplo de recursos hídricos ou a reservatórios. Tal fato reforça a importância da realização desta pesquisa.

Quadro 12 – Emprego do método AHP em situações reais

AUTORES	APLICAÇÕES DO AHP
Hämäläinen <i>et al.</i> (2001)	Modelagem de uma estrutura de apoio aos agentes tomadores de decisão na gestão de recursos hídricos na Finlândia.
Chen, Gustafson e Lee (2002)	Estudo do efeito de uma ferramenta de auxílio quantitativo à decisão em grupo de polarização.
Armacost <i>et al.</i> (1999)	Desenvolvimento de uma abordagem integrativa de suporte à decisão para grandes grupos, no intuito de definir e resolver um problema não estruturado. O problema escolhido envolve a seleção de um presente apropriado para comemorar o 25º aniversário de graduação de uma classe da Academia da Guarda Costeira dos Estados Unidos da América.
Taylor III <i>et al.</i> (1998)	Auxílio ao meio acadêmico e instituições governamentais e privadas para avaliação do desempenho profissional de candidatos, para fins de promoção.
HajShir-mohammadi e Wedley (2004)	Modelo sistemático para avaliar estruturas organizacionais em relação aos objetivos de um departamento de manutenção.
Al-Tabtabai e Thomas (2004)	Gestão de conflitos. Quantificação das perdas e ganhos oriundos do conflito entre agências governamentais do Kuwait.
Saaty e Cho (2001)	Análise das prioridades das opções disponíveis para os Estados Unidos em seu <i>status</i> de relações comerciais com a China.
Ramanathan e Ganesh (1995)	Solução do problema de alocação de recursos energéticos na Índia.

Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 13 – Aplicações práticas do AHP em instituições públicas e privadas

INSTITUIÇÃO	APLICAÇÕES PRÁTICAS DO AHP
Xerox	Decisões de pesquisa e desenvolvimento (P&D), implementação de tecnologia, seleção de <i>design</i> de engenharia e decisões de <i>marketing</i> .
British Columbia Ferries (Canadá)	Seleção de produtos e suprimentos.
Edgewood Research Development and Engineering Center (Maryland - EUA)	Seleção de nova estrutura de gerenciamento.
NASA	Análise dos critérios segurança, performance, confiabilidade e flexibilidade na avaliação das alternativas de células fotovoltaicas para reatores nucleares.
Universidade de Santiago do Chile	Seleção de propostas de pesquisas ao governo, ordenando os projetos segundo critérios julgados importantes para o governo.
Royal Institute of Technology (Estocolmo)	Avaliação de fluidos para motores considerando os seguintes requisitos: termodinâmica, tecnologia, economia e meio ambiente. Seus principais critérios foram: influência no meio ambiente e custos.
Rockwell International	A divisão de sistemas espaciais usa o AHP em um <i>software</i> suporte em engenharia para avaliar critérios, funções de utilidade e análise de sensibilidade. Esse <i>software</i> é utilizado pela NASA e pelo Departamento de Defesa dos EUA.
General Motors	Avaliação de alternativas de <i>design</i> e gerenciamento de performance para obter os melhores e mais custo-efetivos <i>designs</i> de automóveis.
Escritório Executivo de Submarinos da Marinha dos EUA	Seleção de equipamentos eletrônicos que são instalados em submarinos.
Pescadores de truta (Alasca)	Avaliação se os rios do Alasca são <i>habitats</i> apropriados a um tipo de truta (<i>rainbow trout</i>), considerando os fatores capacidade de reprodução e sobrevivência.
Departamento de Polícia de Massachusetts	Estruturação de um modelo multicritérios para avaliação da performance dos policiais.
Força Aérea dos Estados Unidos	Realocação de recursos da comunidade médica da Força Aérea americana.
Autoridade Coreana de Telecomunicações	Priorização e alocação de recursos.

Quadro 13 – Aplicações práticas do AHP em instituições públicas e privadas (continuação)

INSTITUIÇÃO	APLICAÇÕES PRÁTICAS DO AHP
Universidade do Havai (Honolulu)	Mensuração da atratividade de projetos com relação a diferentes objetivos e cenários, considerando escassez e demanda da água.
IBM Rochester (Minnesota - EUA)	Articulação do que seria necessário para se tornar a melhor empresa de computação do mundo.
Latrobe Companhia de Aço	Avaliação da qualidade.
Distrito de Gerenciamento da Água do Sul da Flórida	Modelo de qualidade da água para algas azuis e verdes do lago Okeechobee.
Escola de Medicina de Rochester	Determinação das preferências dos pacientes e dos médicos no diagnóstico de doenças gastrointestinais; Desenvolver e disseminar diretrizes de prática médica.
Centro Médico do Exército de Tacoma (Washington - EUA)	Determinação do tipo do pessoal médico (equipes especializadas civis ou militares) a ativar e despachar no caso de desastres.
Universidade de Anestesiologia de Pittsburgh	Decisões de compensação de mérito.
Serviço Nacional de Parques dos EUA	Planejamento estratégico para integrar múltiplos objetivos no intuito de criar um curso de ação para uma gama de recursos naturais.
3M	Planejamento estratégico e decisões em grupo.
Banco Inter-Americano de Desenvolvimento	Seleção das melhores alternativas para automação das atividades de investimento e para implantação de um sistema eletrônico de gerenciamento da imagem.; Escolha de uma companhia de auditoria externa; Seleção de um provedor de comunicações via satélite; Seleção de um provedor de serviços de assistência médica.
Sociedade Americana para Teste e Materiais	Análise de decisão multi-atributos ⁸² dos investimentos relacionados a construções e sistemas de construção.

Fonte: Elaboração da autora com base em Forman e Gass (2001).

⁸² Refere-se a decisões de preferência sobre as alternativas disponíveis que são caracterizadas por atributos múltiplos e geralmente conflitantes (MA *et al.*, 1998).

4.3 Aspectos robustos e frágeis do AHP

Para Chwolka e Raith (1999) e Taylor III *et al.* (1998), a maior vantagem do AHP é que ele requer que os indivíduos façam somente comparações entre pares de alternativas. Já Boritz (1992) aponta como um dos pontos fortes mais significativos do AHP a capacidade de medir o grau de inconsistência presente nos julgamentos par a par e, desse modo, ajudar a assegurar que somente ordenações justificáveis sejam usadas como a base para avaliações.

Por outro lado, Bana e Costa e Vansnick (2001) e Dodgson *et al.* (2001), em intensos debates com especialistas em Métodos Multicritérios de Análise de Decisão, suscitam algumas dúvidas sobre o AHP. Ishizaka (2004), Steiguer, Duberstein e Lopes (2005) e Schmidt (1995) apresentam várias críticas em relação ao método. Logo, no intuito de proporcionar um panorama das discussões acerca do AHP, foram destacados seus principais aspectos positivos e negativos no quadro 14.

Quadro 14 – Aspectos positivos e negativos do AHP

ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • O desenvolvimento dos sistemas estruturados hierarquicamente é preferível àqueles montados de forma geral; • Pequenas modificações em uma hierarquia bem estruturada têm efeitos flexíveis e pouco significativos, pois ela é estável; • Capacidade em lidar com problemas que envolvam variáveis tanto quantitativas como qualitativas; • A forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, o que contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo mais exeqüíveis; • Estruturando hierarquicamente um problema, os usuários são capazes de ordenar e comparar uma lista menor de itens dentro de seus próprios contextos; • Sintetiza os resultados dentro de uma lista ordenada que permite a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator; • É capaz de prover pesos numéricos para opções onde julgamentos subjetivos de alternativas quantitativas ou qualitativas constituem uma parte importante do processo de decisão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências; • O trabalho computacional é sensivelmente maior quando se eleva o número de alternativas; • A escala de 1-9 é potencialmente inconsistente internamente; • A ligação entre os pontos na escala de 1 a 9 e as descrições verbais correspondentes não têm fundamento teórico; • A introdução de novas opções pode mudar a posição relativa de algumas das opções originais; • O número de comparações requeridas pode ser muito alto; • As prioridades dependem do método usado para derivá-las; • Alternativas incomparáveis não são permitidas; • Por não existir nenhuma base teórica para a formação das hierarquias, os tomadores de decisão, quando se deparam com situações idênticas de decisão, podem derivar hierarquias diferentes, obtendo então diferentes soluções; • Existem falhas nos métodos para agregar os pesos individuais dentro dos pesos compostos; • Uma ausência de fundamento de teoria estatística.

Fonte: Elaboração da autora com base em Boritz (1992), Schmidt (1995), Chwolka e Raith (1999), Finnie e Wittig (1999), Abreu *et al.* (2000), Bana e Costa e Vansnick (2001), Dodgson *et al.* (2001), Ishizaka (2004), Sundarraj (2004) e Steiguer, Duberstein e Lopes (2005).

4.4 Avaliação geral do AHP

O método multicritérios *Analytic Hierarchy Process* (AHP) se constitui de uma ampla ordenação de julgamentos objetivos e subjetivos, construídos de modo intuitivo e consistente por meio da agregação das contribuições individuais das partes envolvidas no processo. Caracteriza-se pela simplicidade, clareza, pela sólida base matemática, pelo caráter normativo ou descritivo e pela possibilidade de utilização em análises *ex ante* ou *ex post* (SCHMIDT, 1995).

Segundo Dodgson *et al.* (2001), a estrutura do AHP identifica as áreas de maior e menor oportunidade; prioriza as opções; esclarece as diferenças entre as alternativas; ajuda os agentes entenderem melhor situação; indica a melhor alocação de recursos para atingir os objetivos; facilita a geração de novas e melhores opções e favorece a comunicação entre as partes integrantes do processo. Trata-se, portanto, de uma ferramenta interativa, muito útil para analistas e tomadores de decisão na resolução de problemas complexos relacionados a interesses econômicos, sociais, culturais, políticos, ambientais, entre outros, onde o número de participantes é grande (SCHMIDT, 1995).

Apesar das especificidades inerentes à aplicação do método, uma decisão coerente pode ser obtida com uso do AHP através do entendimento e clarificação do problema; da definição e análise dos critérios de decisão⁸³; da atribuição de pesos; da avaliação das soluções alternativas para o problema; da verificação do desempenho das alternativas para cada critério; do preparo das recomendações para a tomada de decisão (GOMES, 1998). Ao final desse processo, o grupo de decisores, por meio de negociação, mediação e arbitragem, será capaz de fazer a melhor escolha.

Após avaliação da fundamentação teórica, das características, dos procedimentos de aplicação e vantagens e desvantagens do AHP, conclui-se que seu uso é adequado para realização da pesquisa proposta. Além destes aspectos, a facilidade de obtenção do *software* que executa o AHP também foi levada em consideração.

⁸³ Através das comparações par a par dos critérios, o AHP permite a incorporação de aspectos qualitativos e quantitativos ao problema de decisão (KATAYAMA, KOSHIISHI e NARIHISA, 2005).

4.5 Suporte computacional

Indubitavelmente, há inúmeras vantagens no uso de suporte computacional para execução do AHP. Em primeiro lugar, um grande progresso pode ser feito simplesmente empreendendo os cálculos em uma planilha eletrônica. Segundo Dodgson *et al.* (2001), isto facilita: a correção de erros no início da ordenação e atribuição de pesos; os cálculos; as mudanças na estrutura do modelo por meio de adição ou subtração de critérios; os testes de sensibilidade e a representação gráfica de resultados.

Além desse nível de suporte, há um grande número de pacotes computacionais que sustentam a aplicação do AHP. Os benefícios adicionais incluem: telas de entrada inter-relacionadas para a informação de medidas de desempenho da opção; formas alternativas de entrar com informações de pesos; automação do teste de sensibilidade; apresentação atrativa e informativa dos resultados dos desempenhos relativos das opções, e oportunidade de ver diretamente o posicionamento relativo das opções (DODGSON *et al.*, 2001).

Existem no mercado alguns programas, como AUTOMAN, *Criterium*, *Expert Choice*, HIPRE3+ e NCIC que implementam o AHP e provêm a simplificação do processo de avaliação e a execução dos cálculos matriciais e dos índices de consistência (SAUDERS, 1994; CHOIRAT e SERI, 2001). Dentre eles, o mais utilizado é o *Expert Choice*.

Este *software*, ao contrário dos métodos tradicionais de gestão de processos e instrumentos de colaboração que aplicam ferramentas de captação de informação, mas não fornecem nenhuma opção para concatená-la, apresenta um processo para a síntese dos dados e o desenvolvimento de prioridades. Sua aplicação não requer um alto grau de conhecimento em ciência da decisão, proporciona grande economia de tempo, promove o alinhamento das decisões aos objetivos organizacionais das instituições, além de implementar decisões estruturadas e justificáveis que melhoram a comunicação e constroem um consenso. Pode ser utilizado para (TIPEC, 2005):

- a) selecionar alternativas;
- b) realizar análises de custo-benefício;
- c) executar estimativas;

- d) alocar recursos em geral;
- e) avaliar profissionais;
- f) prever despesas prováveis;
- g) planejar cenários futuros;
- h) facilitar decisões em grupo e
- i) avaliar efeitos das mudanças no sistema de tomada de decisão.

O preço da licença comercial *Expert Choice*[®] é elevado. Há, contudo, uma versão de demonstração do programa. Trata-se do arquivo *setupec.exe*, com 39 MB, compatível com *Windows* 2000/XP, que permite acesso por 15 dias para avaliação do *software*. No entanto, ao contrário da licença comercial *Expert Choice*[®] que permite que a construção de modelos com níveis ilimitados de hierarquia e critérios, a versão de demonstração limita o modelo em 9 objetivos por nó, 8 alternativas e 3 participantes (TIPEC, 2005).

Outra opção para implementar o uso do AHP é o *software Criterium*. O *Criterium* é uma versátil ferramenta multicritérios bastante utilizada nos Estados Unidos. Dentre vários exemplos de aplicações práticas deste programa, destacam-se (HAERER, 2000):

- seleção da rota de um encanamento de combustível através de *habitats* marinhos na construção de um aeroporto internacional;
- avaliação das opções de compra, aluguel, venda e construção para as matrizes de uma companhia de óleo;
- reestruturação e consolidação de organizações de primeira linha para uma agência do governo;
- consolidação de base de dados de uma companhia aeroespacial;
- priorização de projetos de reuso da água;
- seleção de estratégias e tecnologias corretivas para vários locais de ocorrência de vazamentos de esgoto;
- priorização de melhorias ambientais para uma indústria de papel e celulose;
- trabalho com múltiplos decisores para selecionar uma estratégia de restauração de habitat, com a potencial relocação de centenas de famílias;
- avaliação das opções de gerenciamento de esgoto para uma vasta área metropolitana;
- avaliação de alternativas políticas de uma agência federal.

Nota-se que o programa pode ser aplicado para solução de problemas em várias áreas. Isto se deve à combinação das seguintes características: facilidade de uso, alto poder de análise e extensa interface gráfica. O uso desse *software* ainda apresenta as seguintes vantagens:

- processo de decisão estruturado e totalmente transparente;
- imediato *feedback* gráfico da análise de sensibilidade;
- fácil avaliação da sensibilidade da ordenação das alternativas, ajudando os grupos de decisores a focarem nas questões principais;
- capacidade de incorporar incertezas;
- construção de consenso;
- minimização do tempo e do custo de tomada de decisões;
- documentação verbal e gráfica de todos os dados do processo de decisão.

Além dos aspectos positivos citados, o programa possui uma versão gratuita, restrita ao uso acadêmico, denominada *Criterium Decision Plus*. Por esta razão, optou-se por utilizar o *Criterium Decision Plus* para realizar um estudo de caso, no intuito de consolidar os aspectos conceituais abordados nesta dissertação. Esta aplicação prática é apresentada e amplamente analisada no capítulo seguinte.

5 ESTUDO DE CASO: USO MÚLTIPLO DO RESERVATÓRIO DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE

5.1 Modelo de processo decisório de problemas multicritérios

Os modelos de processos decisórios de problemas multicriteriais têm como finalidade apresentar uma lista ordenada das alternativas para solução de um problema, de acordo com as preferências dos decisores, ou selecionar, entre todas alternativas, a solução que melhor satisfaça os objetivos dos decisores. Eles provêm bases mais sólidas, realísticas e transparentes aos agentes responsáveis pela decisão (ROSAKIS *et al.*, 2001). Para tanto, é necessário: considerar todas as variáveis intervenientes; modelar os pontos de vista conflitantes dos decisores para que seja obtido consenso; estabelecer o contexto decisório; determinar e ordenar os objetivos dos decisores; prover alternativas e definir o impacto destas nos objetivos por meio dos pontos de vistas fundamentais (ENSSLIN, 1996).

Após execução de criteriosa análise conceitual dos métodos multicritérios de apoio à decisão, torna-se importante implementar uma aplicação prática. Para consecução deste intento, será desenvolvido um modelo de auxílio à tomada de decisões inerentes ao uso múltiplo de reservatórios, que possibilitará a avaliação das abordagens multicritérios, a fim de saber se elas são capazes de suportar a estruturação destes problemas.

O método considerado mais adequado para a construção deste modelo, como se pode constatar no capítulo 4, é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Com a utilização do AHP será estudado um caso real, o reservatório da barragem do ribeirão João Leite, onde serão exploradas as preocupações dos principais atores envolvidos e avaliadas as opções sob diferentes perspectivas.

Seguindo o procedimento descrito por Bana e Costa (1993) em Schmidt (1995), o desenvolvimento do modelo implementado pelo AHP foi dividido em duas fases: estruturação e avaliação. A sistemática adotada para execução destas fases foi uma combinação das rotinas propostas por TIPEC (2005) com os passos de

execução sugeridos por Dogson *et al.* (2001), com o intuito de proporcionar maior clareza e confiabilidade ao processo⁸⁴.

5.2 Fase de estruturação: construção de um modelo multicritérios de apoio à decisão para o uso múltiplo de reservatórios

A estruturação do processo decisório auxilia a compreensão global de um problema (ENSSLIN, 1996). Esta fase inicia-se pela análise e caracterização da situação, por meio do estudo dos sistemas de decisores e de ações. Desta forma, são obtidos elementos primários de avaliação. A partir destes elementos é construída uma estrutura hierárquica, que reflete o sistema de valores⁸⁵ dos decisores, e permite a comparação das vantagens e desvantagens das potenciais alternativas de decisão de acordo com critérios de avaliação⁸⁶ (BANA E COSTA, 1995 em FERNANDES, 1996; BANA E COSTA, 1993 em SCHMIDT, 1995).

Os elementos da estrutura hierárquica do estudo de caso foram obtidos com a realização de entrevistas e pelas repostas de questionários, elaborados com base no método AHP, que foram enviados ao grupo de decisores. Todas as particularidades do processo de identificação das alternativas, definição de critérios e avaliações obtidas por meio dos questionários e entrevistas são apresentadas ao longo deste capítulo.

5.2.1 Identificação do problema real

Esta etapa consiste na identificação clara e precisa da existência do problema e na delimitação da abrangência de sua análise⁸⁷. Neste estudo de caso, o modelo proposto tem como objeto o uso múltiplo de reservatórios. Este tema está profundamente relacionado à fragilidade da disponibilidade da água diante da variedade de usos requeridos.

⁸⁴ Consultar quadros 10 e 11, no capítulo 4, para maiores detalhes.

⁸⁵ O sistema de valores, segundo Roy (1985) em Schmidt (1995), sustenta em profundidade e mais implicitamente do que explicitamente, os juízos de valores de um indivíduo ou grupo, condicionando o emergir das preocupações assim como a formação dos objetivos e normas.

⁸⁶ Os critérios de avaliação são definidos com base nos pontos de vista dos atores.

⁸⁷ Os problemas multicriteriais tendem a disseminar seus efeitos em várias áreas (ENSSLIN, 1996).

Embora o Brasil seja um país privilegiado quanto à abundância de recursos hídricos, há uma significativa variabilidade temporal e espacial das águas em suas diversas regiões. Em áreas onde há baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos ocorrem problemas relacionados à escassez de água devido ao elevado crescimento das demandas localizadas e à degradação da qualidade das águas. Esta situação resulta dos desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola, que provocam um contínuo aumento dos conflitos entre os diversos usuários da água (ZAMPROGNO e PORTO, 2005).

Torna-se imperioso, por conseguinte, que o planejamento dos recursos hídricos seja direcionado a estudos e ações que visem à utilização sustentável dos recursos hídricos, de forma a garantir água em quantidade e qualidade adequadas ao pleno atendimento das atividades de geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, irrigação, navegação, recreação, aquicultura, piscicultura, pesca, dentre outras. Para consecução deste intento, deve haver uma integração harmônica dos usos, com a possibilidade de compartilhamento das vazões hídricas, tendo como meta o uso racional e eficiente dos recursos hídricos (OLIVEIRA e SOUSA JÚNIOR, 2005).

O uso múltiplo de reservatórios visa aumentar a eficiência da utilização dos recursos hídricos. Trata-se de uma tentativa de que os benefícios relativos ao uso de um reservatório para múltiplos propósitos superem os diversos e profundos impactos negativos causados sobre seu ambiente referencial pela construção e operação de vários reservatórios isolados destinados a usos singulares (LINK e ROSA, 2000).

Não obstante as vantagens do uso múltiplo e integrado, reservatórios ainda são planejados e construídos para atendimento de uma única finalidade⁸⁸. Como esses processos de planejamento envolvem diversos agentes e múltiplos usos das águas, é imprescindível que, para tomada de decisões, sejam ponderados os aspectos políticos, sociais, econômicos, financeiros, hidrológicos, ambientais, de engenharia, dentre outros que possam interferir nas escolhas⁸⁹. Torna-se

⁸⁸ A barragem do ribeirão João Leite é um exemplo.

⁸⁹ Esta necessidade foi relatada no Documento Final da I Conferência Estadual do Meio Ambiente, que destaca a importância da elaboração de estudos integrados de bacias hidrográficas com o objetivo de diagnosticar os conflitos existentes e subsidiar a otimização dos usos múltiplos dos recursos hídricos das bacias hidrográficas (GOIÁS, 2005c).

necessária, portanto, a utilização de ferramentas de apoio à decisão, como a Análise Multicritérios.

5.2.2 Definição do contexto decisório

O contexto decisório consiste na visão global das estruturas administrativas, políticas e sociais que circundam a decisão a ser tomada (DODGSON *et al.*, 2001). Caracteriza-se, por conseguinte, pela identificação das influências externas que permeiam a tomada de decisão (ENSSLIN, 1996). De maneira geral, é definido pelos atores e pelo cenário que envolve a decisão. O quadro 15 apresenta uma descrição desses elementos.

Quadro 15 – Composição do contexto decisório

ELEMENTOS		CARACTERÍSTICAS
<u>Cenário</u>		Descrição da influência dos fatores ambientais, sociais, políticos, tecnológicos e econômicos no problema a ser analisado.
<u>Atores</u>	Facilitadores ou analistas	Suas funções são: auxiliar a compreensão do contexto, identificar os decisores, reconhecer as condições restritivas do desenvolvimento de hipóteses de escolha, participar da elaboração da hierarquia e otimizar a comunicação entre os agentes. Seu papel, contudo, pode ser restrito à descrição das ações possíveis e suas prováveis conseqüências, à incorporação do sistema de valores dos decisores, sem atuar da fase de avaliação.
	Decisores	São aqueles que tomam a decisão. Exercem ação direta sobre a mudança e sobre as pessoas afetadas de modo direto ou indireto pela decisão.

Fonte: Elaboração da autora com base em Schmidt (1995).

Para a modelagem do caso em estudo, serão considerados como atores envolvidos no processo de decisão os membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (COBAMP)⁹⁰. O comitê possui atribuição normativa, deliberativa e consultiva e é o órgão de gerenciamento da bacia incumbido da coordenação das atividades dos agentes públicos e privados, Organizações Não Governamentais (ONG) relacionadas aos recursos hídricos e usuários.

⁹⁰ O ribeirão João Leite é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Meia Ponte. Nasce na Serra do Sapato Arcado, no município de Ouro Verde, estado de Goiás.

O COBAMP é composto pelo poder estadual e municipal, pelos usuários, por entidades civis e categorias profissionais⁹¹, totalizando quarenta e cinco membros, com a competência de promover o debate sobre questões relacionadas a recursos hídricos (GOIÁS, 2005b). Essa ampla representatividade de seus componentes foi o fator determinante para a escolha do comitê para compor o quadro de decisores neste estudo de caso.

Como cenário deste modelo tem-se a barragem do ribeirão João Leite⁹², que é atualmente uma das maiores obras de saneamento básico e de água tratada do Brasil⁹³ (GOIÁS, 2005a). A barragem está sendo construída a montante da cidade de Goiânia, junto ao Morro do Bálsamo, a seis quilômetros do bairro Jardim Guanabara⁹⁴. A obra destina-se exclusivamente ao abastecimento público e garantirá o fornecimento de água para a população de Goiânia e entorno até o ano 2025 (SANEAGO, 2005).

O Núcleo de Arqueologia do Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia (IGPA) da Universidade Católica de Goiás (UCG) desenvolveu um projeto de levantamento e resgate do patrimônio arqueológico da área afetada pela construção da barragem do ribeirão João Leite⁹⁵. Dentre os 23 sítios arqueológicos identificados na região⁹⁶, dezessete foram resgatados: 11 pré-históricos, com material que data de 830 anos atrás, e 6 históricos, de meados do século 19 e início do século 20.

As escavações encontraram uma coleção significativa de materiais cerâmicos, líticos, louças, vidros e metais (UCG, 2004). O maior e mais preservado sítio arqueológico encontrado pelos arqueólogos do IGPA na área em estudo é o Sítio Bananeiras, que será parcialmente inundado com o enchimento do lago.

⁹¹ A composição do Comitê obedece à seguinte proporção: 40% dos membros oriundos dos governos estadual e municipal, 40% de usuários e 20% da sociedade civil.

⁹² O ribeirão João Leite é um dos principais afluentes do Rio Meia Ponte, um dos componentes da Bacia Hidrográfica do Paranaíba. Este Ribeirão contribui com 55% do abastecimento público da população de Goiânia. Suas nascentes encontram-se no município de Ouro Verde, na serra do Sapato Arcado (SEMARH, 2005b).

⁹³ O represamento das águas do João Leite para formar o reservatório foi considerado pela Empresa de Saneamento de Goiás (SANEAGO), concessionária do serviço de distribuição de águas de Goiânia, a alternativa mais viável, do ponto de vista de custo-benefício, para o abastecimento da população.

⁹⁴ As principais características da barragem e de sua área de influência são apresentadas no anexo B. No anexo C, são exibidas fotos das diversas etapas de construção da barragem.

⁹⁵ A área a ser inundada foi parcialmente desapropriada e é limdeira ao Parque Ecológico de Goiânia.

⁹⁶ Ver representação dos sítios arqueológicos e fotos das escavações no anexo D.

Observa-se na bacia do ribeirão João Leite a presença de vários impactos ambientais decorrentes de um conjunto de fatores internos e externos relacionados ao sistema sócio-econômico, ao tipo de ocupação e manejo do solo, tanto nas áreas rurais como urbanas (FARIA, CASTRO e LIMA, 2004). Diversos problemas que comprometem a qualidade ambiental da bacia podem ser observados no quadro 16.

Quadro 16 – Problemas que afetam a qualidade ambiental da bacia do ribeirão João Leite.

PROBLEMA	CONSEQÜÊNCIA
Crescimento acelerado e desordenado de áreas urbanas sobre as vertentes;	Agravamento dos processos erosivos e comprometimento da qualidade das águas;
Vales das drenagens ocupados por frigoríficos, cerâmicas, pequenas indústrias, granjas, confinamento de bovinos e pocilgas, além da ocupação intensiva do solo com pastagens e uso agrícola diversificado;	Contaminação das águas superficiais e subterrâneas e possível assoreamento do reservatório;
Uso indiscriminado de fertilizantes e de defensivos;	Contaminação das águas pluviais;
Desmatamentos ao longo dos cursos de água;	Solapamentos laterais e conseqüente assoreamento, podendo afetar a produção de água da bacia;
Região entrecortada por rodovias e estradas vicinais;	Formação de sulcos pelo escoamento concentrado;
Solos vulneráveis à erosão superficial;	Assoreamento intenso a jusante da bacia;
O lixo recolhido nas áreas urbanas geralmente é depositado em lixões ou jogado às margens das rodovias.	Contaminação da água.

Fonte: Adaptado de Vaz, Backes e Hora (2001).

Além das degradações ambientais apresentadas, deve-se destacar o avanço de loteamentos urbanos e o uso indiscriminado do solo na bacia do ribeirão João Leite (AGÊNCIA AMBIENTAL, 2005). Esse problema pode ser agravado com a construção da barragem, pois é provável que ocorram especulações imobiliárias que aumentariam o risco de contaminação dos mananciais⁹⁷, contrariando as exigências de qualidade para água destinada ao abastecimento humano.

Segundo o COBAMP, o avançado processo de desmatamento, a falta das matas ciliares e a compactação do solo deram origem aos problemas de escassez

⁹⁷ Isto ocorreria devido à degradação dos mananciais, poluição orgânica e química da água de abastecimento, contaminação dos rios por os esgotos domésticos e efluentes industriais, problemas de drenagem urbana, falta de coleta e disposição adequada do lixo, etc.

de água em Goiás⁹⁸. Em conseqüência, surgiram sérios conflitos entre os diversos consumidores, principalmente entre os meses de maio e outubro, época de seca.

A barragem do ribeirão João Leite vem mitigar o problema de escassez de água potável para abastecimento público. Por outro lado, a construção e o funcionamento do reservatório geram uma série de impactos negativos nos âmbitos: social, econômico, ambiental e cultural, além de agravar alguns processos de degradação ambiental pré-existentes na bacia do ribeirão João Leite. Os quadros 17, 18 e 19 retratam alguns desses efeitos indesejados.

⁹⁸ Em Goiás, há vários conflitos entre os usuários dos recursos hídricos, principalmente em relação aos seguintes cursos de água: João Leite, Caldas, Piancó, Bom Jesus, Crixás e Corrente (SEMARH, 2005c).

Quadro 17 – Impactos provocados no meio físico pela implantação, enchimento e operação do reservatório João Leite

FASE	ÁREA	AÇÕES	IMPACTOS
Implantação	Adutora	• Desmatamentos e limpeza superficial do terreno	• Remoção da camada orgânica do solo; • Retirada da cobertura vegetal; • Favorecimento de processos erosivos.
		• Escavações em solo	• Modificações no relevo; • Modificações no escoamento das águas pluviais; • Favorecimento de processos erosivos.
	Reservatório	• Desmatamento e limpeza da área	• Retirada da cobertura vegetal de grande porte; • Interferência generalizada em toda área; • Modificações no microclima, favorecendo pequenas inversões térmicas.
	Barragem e estruturas	• Desmatamentos e limpeza superficial do terreno nas áreas destinadas às obras	• Retirada da cobertura vegetal; • Retirada da camada de solo orgânico; • Favorecimento de processos erosivos; • Favorecimento de assoreamentos; • Degradação da paisagem.
		• Instalação de canteiros, escritórios e acampamentos	• Contaminação do solo / produção de lixo e resíduos sólidos; • Contaminação do lençol freático.
		• Desvio do rio	• Modificações no curso de água; • Interferências no fundo do vale.
		• Escavações em solo e rocha	• Modificações na paisagem / relevo; • Modificações no escoamento das águas pluviais.
		• Construção da barragem e estruturas	• Favorecimento de processos erosivos / assoreamento; • Interferência no fundo do vale; • Formação de poeira, ruídos e resíduos sólidos; • Modificações no relevo e na paisagem.
		• Escavações em áreas de empréstimo de solo	• Acúmulo de águas pluviais; • Compactações no terreno; • Favorecimento de processos erosivos; • Assoreamento do reservatório; • Degradação da paisagem e relevo.

Quadro 17 – Impactos provocados no meio físico pela implantação, enchimento e operação do reservatório João Leite (continuação)

FASE	ÁREA	AÇÕES	IMPACTOS
Enchimento	Reservatório	<ul style="list-style-type: none"> • Elevação progressiva do nível da água no interior do reservatório 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferências na infra-estrutura local, estradas, rodovias e pontes; • Recobrimento de solos férteis e produtivos; • Recobrimento de recursos minerais e argila; • Favorecimento a movimentação de massas de solo; • Redução na vazão de jusante do ribeirão João Leite; • Elevação do nível do lençol freático.
Operação	Barragem, estruturas, reservatório e adutora	<ul style="list-style-type: none"> • Operação 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorrência de sismos induzidos; • Instalação de processos erosivos nos taludes marginais; • Instalação de processos erosivos nas áreas utilizadas para empréstimo de solo e bota fora; • Favorecimento ao assoreamento do reservatório; • Controle de cheias e da vazão de jusante do ribeirão João Leite.

Fonte: Adaptado de TECON (1994).

Quadro 18 - Impactos provocados no meio biótico pela implantação e enchimento do reservatório João Leite

FASE	AÇÕES	IMPACTOS
Implantação	<ul style="list-style-type: none"> • Desmatamento e limpeza da área 	<ul style="list-style-type: none"> • Supressão da vegetação; • Remoção da fauna, com exceção das espécies subaquáticas, higrófilas e aladas.
Enchimento	<ul style="list-style-type: none"> • Submersão de área significativa do ecossistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Desaparecimento de áreas florestais e de outras formações vegetais; • Decomposição da biomassa submersa; • Criação de impedimentos à navegação, à pesca e às atividades de lazer; • Redução e alterações na composição da fauna terrestre e alada; • Deslocamento de animais durante o enchimento; • Interrupção da migração de peixes; • Alterações na composição da ictiofauna; • Prejuízos a outros animais aquáticos.

Fonte: Adaptado de TECON (1994).

Quadro 19 – Impactos provocados no meio antrópico pela implantação e enchimento do reservatório João Leite

FASE	AÇÕES	IMPACTOS
Implantação	<ul style="list-style-type: none"> • Infra-estrutura de apoio à obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da circulação local com possibilidade de transtorno aos moradores; • Higiene das habitações / edificações; • Destino dos dejetos e resíduos sólidos; • Acidentes de trabalho.
	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilização da mão de obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Oferta de empregos; • Problemas sociais associados ao comportamento humano; • Disseminação de doenças transmissíveis.
	<ul style="list-style-type: none"> • Obras civis 	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupção da BR-153 em função da elevação do “Grade” da pista em 3 locais; • Acidentes de trabalho; • Interrupção de estradas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Desapropriação 	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupção de atividades produtivas; • Possível prejuízo econômico aos proprietários.
	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza da bacia de acumulação 	<ul style="list-style-type: none"> • Deslocamento compulsório dos moradores; • Aproveitamento econômico de recursos e materiais disponíveis; • Comprometimento da qualidade das águas pelo abandono de material, equipamentos e outros resíduos.
Enchimento	<ul style="list-style-type: none"> • Enchimento do reservatório 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da área de suporte às atividades antrópicas; • Perda de áreas produtivas; • Interrupção de vias secundárias e submersão de pontes; • Submersão de locais de interesse paisagístico e ecológico; • Segregação de áreas entre uma margem e outra; • Inundação de sítios arqueológicos; • Fragmentação de ambientes com formação de remansos propícios ao desenvolvimento de insetos; • Alteração do ambiente propiciando o desenvolvimento de espécies vetores de doenças; • Submersão de habitats com fuga de animais peçonhentos, aumentando o risco de acidentes; • Decomposição da fitomassa com possível alteração de sua qualidade e comprometimento do seu uso.
Aduтора	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação da adutora 	<ul style="list-style-type: none"> • Possível dano econômico aos moradores; • Transtornos ao sistema de circulação viário no cruzamento com as vias importantes; • Dispendio de capital para pagamento de indenizações; • Acidentes de trabalho.
Operação	<ul style="list-style-type: none"> • Desmobilização 	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos sólidos; • Desemprego.
	<ul style="list-style-type: none"> • Operação do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Intensificação das atividades de recreação e lazer; • Valorização das terras; • Ocupação clandestina do entorno; • Abastecimento de água para a grande Goiânia até o ano 2020.

Fonte: Adaptado de TECON (1994).

5.2.3 Identificação dos objetivos

Para que um problema possa ser compreendido e estruturado é necessário que fique claro quais são os objetivos que se pretende alcançar. Entretanto, a definição dos objetivos, em muitos casos, é tão complexa quanto à definição do problema ou a criação de um modelo, pois envolve múltiplos interesses dos atores envolvidos (ENSSLIN, 1996). A identificação equivocada dos objetivos desviará os decisores da solução do problema real. Por esse motivo, os objetivos devem ser claros, específicos, mensuráveis, realísticos e independentes da variável tempo. Todavia, sua concepção, na prática, está condicionada ao nível de conhecimento dos decisores e à disponibilidade de informações, caracterizando-se pela subjetividade.

Neste estudo de caso, definiu-se como objetivo o uso múltiplo da barragem do ribeirão João Leite, tendo em mente os seguintes objetivos secundários: reduzir os impactos negativos gerados pela construção de reservatórios destinados a usos singulares; economias de escala e multiplicar os benefícios. Deste modo, o grupo de decisores recebeu os questionários de avaliação com o objetivo preestabelecido.

5.2.4 Identificação das alternativas e dos critérios de avaliação

O processo de decisão de quais tipos de usos são adequados a um reservatório visa garantir a multiplicidade de utilizações deste e envolve diversas alternativas possíveis⁹⁹. No caso em estudo, as alternativas foram definidas por meio de entrevistas com quatro engenheiros¹⁰⁰, membros do COBAMP, em função da combinação de atributos desejáveis e peculiaridades da barragem do ribeirão João Leite. Foram indicadas as opções: irrigação, geração de energia hidrelétrica, recreação e aqüicultura¹⁰¹.

⁹⁹ Dentre elas: abastecimento urbano e industrial, irrigação, geração de energia hidrelétrica, navegação, recreação, controle de enchentes, mitigação de secas, pesca e aqüicultura.

¹⁰⁰ Só quatro membros do COBAMP se dispuseram a participar da entrevista.

¹⁰¹ Todos os entrevistados descartaram a possibilidade de uso para a navegação, em virtude das características do curso de água.

Como a barragem do ribeirão João Leite já está sendo construída com a finalidade única de abastecimento, três entrevistados concordaram que a decisão consistiria na escolha de quais destas modalidades de uso de reservatórios seriam adequadas e compatíveis com o abastecimento de água potável. O quarto entrevistado sugeriu que a alternativa de uso para abastecimento fosse considerada na avaliação. Já que a inclusão desta alternativa de uso possibilita que o modelo seja utilizado para qualquer tipo de reservatório e não inviabiliza os julgamentos relativos às outras opções de uso, optou-se por atender a sugestão.

Para avaliação das conseqüências geradas pela execução das alternativas é necessária a definição de um conjunto de critérios¹⁰² (AZIBI e VANDERPOOTEN, 2003). Deste modo, os engenheiros entrevistados também definiram seis critérios de avaliação, apresentados no quadro 20, que permitem que os decisores explicitem seus pontos de vista em relação às opções de uso múltiplo do reservatório. É importante lembrar que todas estas escolhas têm um caráter meramente subjetivo, com base nos conhecimentos, opiniões e interesses de cada membro.

Quadro 20 – Critérios para avaliação das alternativas de uso de reservatórios.

CRITÉRIO	CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Benefícios	Econômica / Social	Benefícios, tangíveis e intangíveis, gerados por determinado uso de reservatórios.
Operacionalidade	Engenharia	Aspectos construtivos, de manutenção e de operação inerentes a uma alternativa de uso de reservatórios.
Aceitação	Política	Receptividade do projeto pelos atores envolvidos
Custo global	Econômica	Custos de instalação, operação e manutenção, provenientes de determinado uso de reservatórios.
Repercussões políticas	Política	Ganhos políticos proporcionados pela execução da obra.
Qualidade da água	Ambiental	Conservação dos requisitos mínimos de qualidade da água do reservatório de acordo com o uso pretendido.

Fonte: Elaboração da autora.

¹⁰² Segundo Maystre e Bollinger (1999) em Soares (2003), a definição de critérios é uma tarefa longa, com sucessivas aproximações entre os objetivos desejados e possibilidade de atendimento com os recursos financeiros, tempo e conhecimentos disponíveis. Geralmente são considerados de 6 a 20 critérios (Dodgson *et al.*, 2001).

Após a definição dos critérios, foram verificados alguns aspectos sugeridos por Dodgson *et al.* (2001) e Roberts (1999): a) se foram incluídos todos os critérios necessários para comparar o desempenho das opções; b) se há critérios que são desnecessários; c) se as alternativas podem ser julgadas em relação a cada critério; d) se, para cada critério, o nível de preferência de uma opção em um critério pode ser avaliado independentemente do conhecimento dos níveis de preferência em todos os outros critérios; e) se não há um número excessivo de critérios, o que dificultaria a análise. Após análise das observações mencionadas, todos os critérios foram julgados adequados para o estudo proposto.

Com base nas alternativas e critérios previamente definidos por meio de entrevistas, foram elaborados questionários, apresentados no apêndice D. Eles foram estruturados em conformidade com o método AHP, com o intuito de identificar as preferências dos decisores em relação às alternativas e critérios de avaliação. Os decisores tiveram ampla liberdade para acrescentar os critérios que julgassem necessários e, conseqüentemente, proceder as respectivas avaliações das alternativas de uso múltiplo do reservatório.

Para responder os questionários foi apresentada uma escala numérica de 1 a 9 (Escala Fundamental de Saaty) e seus recíprocos de 1 a 1/9, associada a uma escala verbal, ambas adotadas pelo AHP. Também foi elaborado um exemplo de preenchimento dos quadros de avaliação no intuito de esclarecer todo o processo de avaliação das alternativas que consiste basicamente em responder perguntas da seguinte forma: “— Em relação ao critério C_1 , a alternativa A_1 é quantas vezes melhor que a alternativa A_2 ?”. Por sua vez, as respostas a estas perguntas terão a forma: “A alternativa A_1 é x vezes melhor que a alternativa A_2 ”, onde x varia de 1 a 9, ou “a alternativa A_1 é $1/x$ vezes melhor que a alternativa A_2 ”, o que equivale dizer que “a alternativa A_1 é x vezes pior que a alternativa A_2 ”¹⁰³.

A coerência do questionário foi avaliada com a verificação de 4 axiomas do método AHP. São eles (SAATY, 1986):

I) **Comparação recíproca** - O decisor deve ser capaz de fazer comparações e manifestar intensidade de suas preferências, sendo que estas devem satisfazer a condição de reciprocidade: se A é X vezes mais preferível que B ,

¹⁰³ A afirmação: “a alternativa A é x vezes pior que a alternativa B ” também pode ser reescrita na forma: “a alternativa B é x vezes melhor que a alternativa A ”

logo, B é $1/X$ vezes mais preferível que A . Se isto não ocorre, a pergunta utilizada é confusa ou incorreta.

II) **Homogeneidade** - As preferências são representadas por uma escala limitada. Este axioma, portanto, restringe o limite superior da escala. Na prática, o limite superior é igual a 9. Se o decisor não pode fornecer uma resposta, então ou a pergunta não é significativa ou as alternativas não são comparáveis.

III) **Independência** - Quando as preferências são declaradas, assume-se que os critérios são independentes das propriedades das alternativas. Deste modo, os pesos dos critérios devem ser independentes das alternativas analisadas.

IV) **Expectativa** - Para tomar uma decisão, supõe-se que a estrutura hierárquica seja completa. Se isto não ocorre, então o decisor não está usando todos os critérios e/ou todas as alternativas avaliáveis ou necessárias para encontrar suas expectativas racionais e, desta forma, a decisão está incompleta.

Os questionários, após avaliação da coerência, foram enviados ao secretário executivo do COBAMP que prontamente encaminhou a todos os 45 membros do comitê, titulares e suplentes, no dia 05 de janeiro de 2006, via edital de convocação¹⁰⁴. O prazo estipulado para entrega das respostas, 10 de fevereiro de 2006, foi prorrogado para 24 de fevereiro de 2006 por não ter sido entregue nenhum questionário respondido na secretaria do COBAMP até aquela data. Somente no dia 21 de março de 2006 foram entregues dois questionários respondidos. Nas respostas obtidas, não foi sugerido nenhum outro critério de avaliação para alternativas de uso múltiplo do reservatório da barragem do ribeirão João Leite. Logo, a estrutura hierárquica do modelo proposto pode ser representada pela figura 12.

¹⁰⁴ O COBAMP informou que o edital de convocação era necessário para garantir uma maior participação de seus membros, pois, em outra ocasião, um de seus integrantes solicitou aos colegas que respondessem um questionário para o desenvolvimento de uma dissertação de mestrado e não obteve nenhuma resposta.

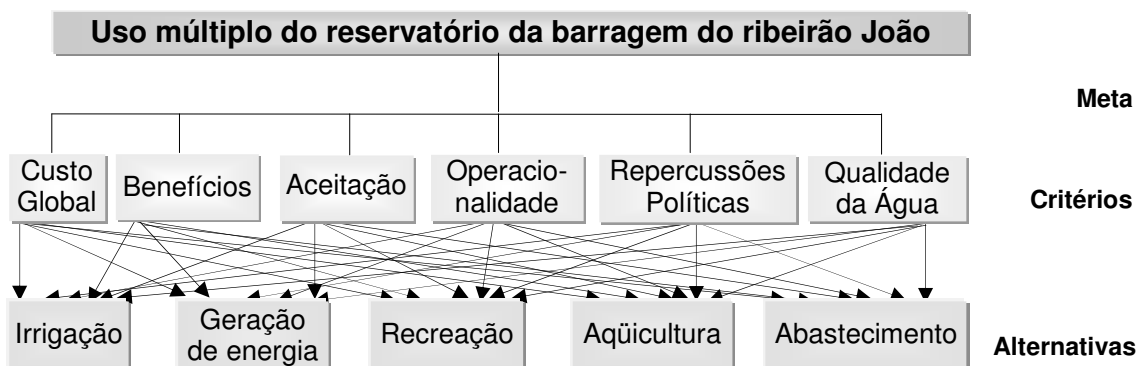


Figura 12 – Estrutura hierárquica do modelo.

Fonte: Elaboração da autora.

5.3 Fase de Avaliação: análise das ações potenciais

Depois da estruturação do modelo, inicia-se a fase de avaliação, com a comparação de todos os elementos da hierarquia. É através da multiplicidade de comparações que se analisa o desempenho de cada par de alternativas em relação aos critérios estabelecidos. Estas comparações aos pares foram obtidas pelo preenchimento de questionários, onde cada decisor apresentou seu julgamento, estabelecendo a relação de importância entre os elementos da hierarquia de acordo com seu interesse especial¹⁰⁵. No intuito de construir o conhecimento sobre os elementos do modelo e aumentar a precisão da análise, os julgamentos dos dois membros do COBAMPB que enviaram os questionários respondidos foram analisados separadamente.

No desenvolvimento desta fase, foi utilizado o *software Criterium Decision Plus 3.0*, para analisar alternativas de uso do reservatório. De acordo com a estrutura hierárquica definida, foram inseridos no programa o nome do modelo, a meta, os critérios, sub-critérios e as alternativas¹⁰⁶.

¹⁰⁵ No caso de haver divergência nos julgamentos dos vários decisores, pode-se chegar a um consenso através da técnica Delphi. Esta é uma técnica sistemática, interativa e projetiva, que consiste na obtenção de opiniões de especialistas em determinada área do conhecimento (peritos, cientistas, acadêmicos, empresários, executivos, etc.) que respondem a uma série de questões elaboradas por um facilitador. Os resultados dessa primeira fase são analisados e a síntese dos resultados é comunicada aos membros do grupo que, após tomarem conhecimento, respondem novamente. As interações se sucedem desta maneira até que um consenso ou quase consenso seja obtido (MASSAÚD, 2001).

¹⁰⁶ A tela de abertura do programa e os procedimentos aqui mencionados estão representados nas figuras 1E, 2E e 3E, no anexo E.

5.3.1 Determinação dos pesos relativos dos critérios

A importância relativa dos critérios para a decisão é determinada atribuindo-se um peso para cada critério ou sub-critério. No programa, este procedimento é chamado de “*rating set*”. Sua execução exige a seleção de um método para a realização das comparações e de uma escala adequada. Para o estudo de caso, optou-se pelo método “*full pairwise*”, por exigir somente julgamentos subjetivos ou a intuição para determinar a importância de um critério em relação a outro, e pela escala “*preference*”, que é a Escala Fundamental de Saaty para comparação par a par¹⁰⁷. Esta escala é adotada pelo AHP por associar uma escala numérica a uma escala verbal, como mostra o quadro 21.

Quadro 21 – Relação entre as escalas do AHP e do *Criterion Decision Plus*

ESCALAS		
VERBAL AHP	NUMÉRICA AHP	CRITERIUM DECISION PLUS
Absolutamente melhor	9	9
Criticamente melhor	8	8
Muito fortemente melhor	7	7
Fortemente melhor	6	6
Definitivamente melhor	5	5
Moderadamente melhor	4	4
Fracamente melhor	3	3
Pobremente melhor	2	2
Igual	1	1
Pobremente pior	1/2	<>2
Fracamente pior	1/3	<>3
Moderadamente pior	1/4	<>4
Definitivamente pior	1/5	<>5
Fortemente pior	1/6	<>6
Muito fortemente pior	1/7	<>7
Criticamente pior	1/8	<>8
Absolutamente pior	1/9	<>9

Fonte: Adaptado de *Criterion Decision Plus* 3.0.

A notação “<>”, no quadro acima, indica que a ordem de comparação foi invertida. Deste modo, se um critério **A** é considerado “fortemente pior” que um critério **B**, ao invés de utilizar a notação “1/6”, o *Criterion Decision Plus* 3.0 utiliza “<> 6”. Isto equivale dizer que o critério **B** é “fortemente melhor” que **A**¹⁰⁸.

¹⁰⁷ Ver figura 4E no anexo E.

¹⁰⁸ O programa possui um botão de atalho, o “*switch bottom*”, que faz esta inversão.

Para a construção do modelo, todos os critérios foram considerados com importância igual aos outros. Portanto, foi atribuído peso “1” a todas as comparações entre os pares de critérios considerados.

5.3.2 Determinação dos níveis de preferências das alternativas

A partir das avaliações dos decisores obtidas por meio dos questionários, foram inseridos no programa *Criterion Decision Plus*, no campo denominado “score”, os valores dos níveis de preferências dos pares de alternativas em relação a cada critério, como mostra a figura 5E, no anexo E. Para cada conjunto de comparações inerentes a um critério, o programa forneceu um valor para a Razão de Consistência¹⁰⁹. Os valores obtidos para todos os conjuntos de comparações efetuadas pelos dois membros do comitê foram superiores a 0,10, como mostra o quadro 22.

Quadro 22 – Valores da Razão de Consistência para as comparações das alternativas em relação aos critérios de avaliação

CRITÉRIO	RAZÃO DE CONSISTÊNCIA (RC)	
	QUESTIONÁRIO 1	QUESTIONÁRIO 2
Custo Global	0,16	0,39
Benefícios	0,20	0,21
Aceitação	0,41	0,14
Operacionalidade	0,28	0,12
Repercussões políticas	0,16	0,85
Qualidade de água	0,30	0,34

Fonte: Elaboração da autora.

Quando os valores de RC são maiores que 0,10, as inconsistências¹¹⁰ são tão grandes que os resultados são irrealistas e as comparações devem ser revistas¹¹¹. A decisão final, entretanto, é sempre do decisor ou do grupo de decisores. No caso em estudo, optou-se por desconsiderar todos os julgamentos provenientes dos questionários 1 e 2 devido ao alto grau de inconsistência.

¹⁰⁹ A Razão de Consistência (RC) tenta medir o quanto o conjunto de comparações aos pares está inconsistente.

¹¹⁰ As comparações inconsistentes podem ser ilustradas em um exemplo bem simples: "Eu prefiro maçãs a laranjas, laranjas a peras e peras a maçãs".

¹¹¹ Para maiores detalhes, consultar capítulo 4.

Tornou-se necessário, por conseguinte, revisar todas as avaliações das alternativas para evitar que o modelo fosse construído com dados considerados irreais. Para consecução desse intento, o processo de avaliação foi explicado minuciosamente aos dois membros do COBAMP que haviam respondido os questionários, esclarecendo todas as questões relativas à inconsistência das comparações. Porém, diante da necessidade de repetição do elevado número de julgamentos dos pares de alternativas em relação aos critérios de decisão, somente um deles se dispôs a rever suas avaliações.

Todas as comparações foram analisadas e os julgamentos inconsistentes foram alterados. Conseqüentemente, foram obtidos valores menores ou iguais a 0,10 para todos os conjuntos de comparações das alternativas, como mostra o quadro 23. Os valores atribuídos nesta nova avaliação dos pares de alternativas em relação aos critérios de decisão foram utilizados para execução dos procedimentos subseqüentes.

Quadro 23 – Valores da Razão de Consistência para o julgamento das alternativas

CRITÉRIO	RAZÃO DE CONSISTÊNCIA (RC)
Custo Global	0,08
Benefícios	0,08
Aceitação	0,10
Operacionalidade	0,10
Repercussões políticas	0,06
Qualidade de água	0,09

Fonte: Elaboração da autora.

5.3.3 Síntese dos resultados

O programa *Criterion Decision Plus* fornece um escore de decisão para cada alternativa. Trata-se da valoração global de cada alternativa, considerando os pesos dos critérios e os níveis de preferências das alternativas que foram inseridos no modelo. As melhores opções são, portanto, aquelas que apresentam os maiores escores de decisão. A figura 13 mostra os resultados obtidos para o modelo.

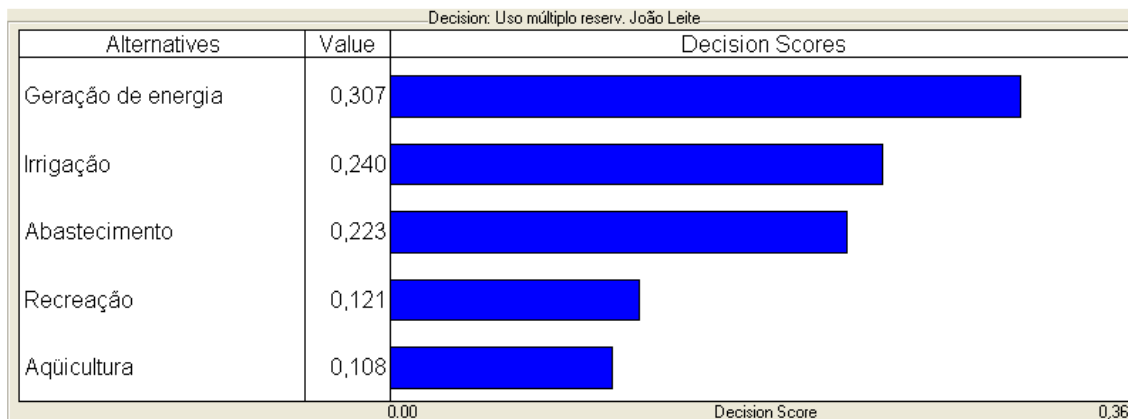


Figura 13 - Prioridades das alternativas de uso do reservatório João Leite.

Fonte: *Criterion Decision Plus*.

Nota-se que as alternativas foram dispostas em ordem decrescente de prioridade. Logo, “geração de energia” foi a opção que apresentou a maior ordem de prioridade, enquanto “aqüicultura” recebeu a menor prioridade.

5.3.4 Exame dos resultados

O método AHP incorpora, a cada passo, a subjetividade e a complexidade do julgamento humano (SCHMIDT, 1995). Logo, é possível que surjam algumas dúvidas sobre a decisão final, mesmo depois da introdução dos julgamentos e da obtenção das prioridades das alternativas. Neste caso, é necessário verificar a validade dos resultados, examinando se a intuição sobre a melhor alternativa está de acordo com a opção selecionada. Se não estiver, a estrutura, os critérios e julgamentos do modelo devem ser reexaminados e, se necessário, modificados. Outra possibilidade é a construção de outro modelo para uma visão diferente do problema.

Analisando a síntese dos resultados do modelo, observa-se que a ordenação das alternativas está coerente com os resultados de uma avaliação do potencial de uso múltiplo do reservatório João Leite, realizada por Borges Neto, Soares e Paiva Júnior (2002)¹¹². O referido estudo apresentou a geração de energia como a atividade de menor interferência com a operação do reservatório. Ele sugere

¹¹² Os autores realizaram uma pesquisa bibliográfica sobre o uso múltiplo de reservatórios no Brasil, analisaram a compatibilidade das utilizações consideradas e avaliaram o potencial de implantação de cada uso na barragem do ribeirão João Leite, sob o ponto de vista socioeconômico.

que o potencial energético do empreendimento seja explorado pela própria SANEAGO, pois as principais estruturas físicas que possibilitam este aproveitamento são as mesmas do projeto de abastecimento. Haveria, portanto, uma considerável redução de despesas com energia.

A segunda alternativa apontada pelos autores como viável ao reservatório é a irrigação. A agricultura irrigada é uma prática já incorporada à cultura local e proporcionaria significativos benefícios sociais. A terceira atividade indicada no estudo é a recreação. Os autores sugerem a implementação do ecoturismo, com o desenvolvimento de atividades direcionadas à educação ambiental, permitindo a utilização do reservatório para a prática de esportes náuticos não motorizados e pesca amadora. Deste modo, não haveria comprometimento da qualidade da água. Ainda de acordo com o estudo, se estas três alternativas de uso fossem implantadas em conjunto com o abastecimento, haveria maior benefício econômico agregado.

O programa *Criterion Decision Plus* 3.0 também possui algumas opções para auxílio do exame dos resultados. Uma delas é apresentação das contribuições de cada critério de avaliação para a determinação dos escores de decisão das alternativas. O quadro 24 apresenta as contribuições dos critérios para avaliação global das alternativas de uso da barragem do ribeirão João Leite.

Quadro 24 – Contribuição dos critérios para a avaliação global das alternativas

[i]	CRITÉRIOS	Fator de ponderação	PESOS DAS ALTERNATIVAS				
			Geração de energia	Irrigação	Abastecimento	Recreação	Aquí-cultura
		[a _i]	[b _i]	[c _i]	[d _i]	[e _i]	[f _i]
1	Custo Global	0,167	0,033	0,160	0,077	0,316	0,415
2	Benefícios	0,167	0,225	0,313	0,386	0,042	0,034
3	Aceitação	0,167	0,326	0,070	0,521	0,035	0,049
4	Operacionalidade	0,167	0,040	0,638	0,093	0,166	0,063
5	Repercussões políticas	0,167	0,551	0,221	0,138	0,055	0,036
6	Qualidade da Água	0,167	0,671	0,039	0,120	0,115	0,055
ESCORE DE DECISÃO			0,307	0,240	0,223	0,121	0,108
			$\sum_{i=1}^n (a_i \cdot b_i)$	$\sum_{i=1}^n (a_i \cdot c_i)$	$\sum_{i=1}^n (a_i \cdot d_i)$	$\sum_{i=1}^n (a_i \cdot e_i)$	$\sum_{i=1}^n (a_i \cdot f_i)$

Fonte: Elaboração da autora com base nos resultados do *Criterion Decision Plus*.

Um detalhe importante a ser observado no quadro acima é o fator de ponderação (coluna a). Todos os critérios foram considerados de igual importância, ou seja, receberam peso “1”. Logo, para o cálculo do fator de ponderação, o programa distribuiu o peso “1” pelos cinco critérios, gerando fatores de ponderação iguais a 0,167. Estes valores são utilizados para o cálculo do escore de decisão de cada alternativa por meio das expressões que aparecem na última linha do quadro.

As contribuições de cada critério de avaliação para a determinação dos escores de decisão das alternativas foram representadas graficamente na figura 14. Os gráficos provêm uma melhor idéia da dimensão da influência de cada critério nas preferências pelas alternativas de uso de reservatórios.

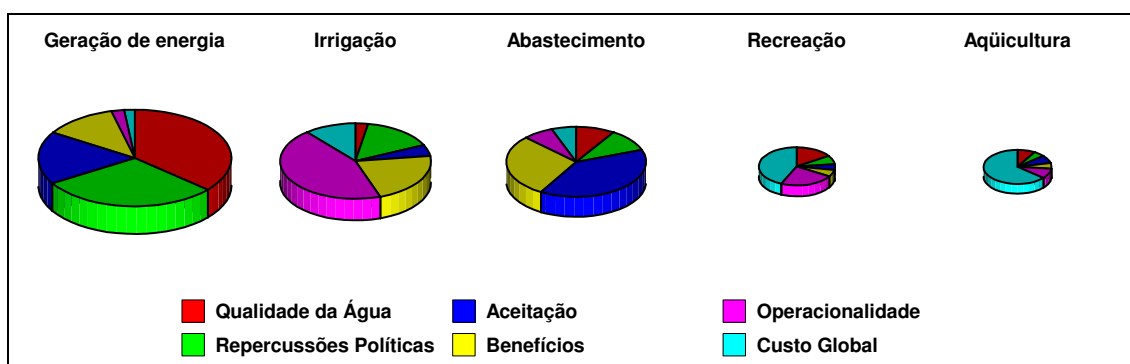


Figura 14 – Preferências de uso do reservatório João Leite de acordo com os critérios de avaliação.

Fonte: *Criterion Decision Plus*.

Observa-se na figura 14 que, para a opção de geração de energia hidrelétrica, o critério “qualidade da água” teve maior peso, seguido do critério “repercussões políticas”. Estes resultados são coerentes com a intuição sobre a melhor alternativa e sobre os critérios que exerceriam maior influência sobre o resultado. Já a alternativa de menor prioridade (aqüicultura) recebeu maior peso do critério custo global.

A inclusão da alternativa “abastecimento” proporcionou mais uma oportunidade de análise dos resultados, pois permitiu estudar o efeito na ordem das prioridades dos decisores ao se considerar ou não o referido uso. Foi realizada uma simulação no modelo, excluindo da análise a opção “abastecimento”. Os resultados demonstraram que não houve alteração na ordem das prioridades das alternativas. Somente os valores dos escores de decisão sofreram modificações, como mostra a figura 15.

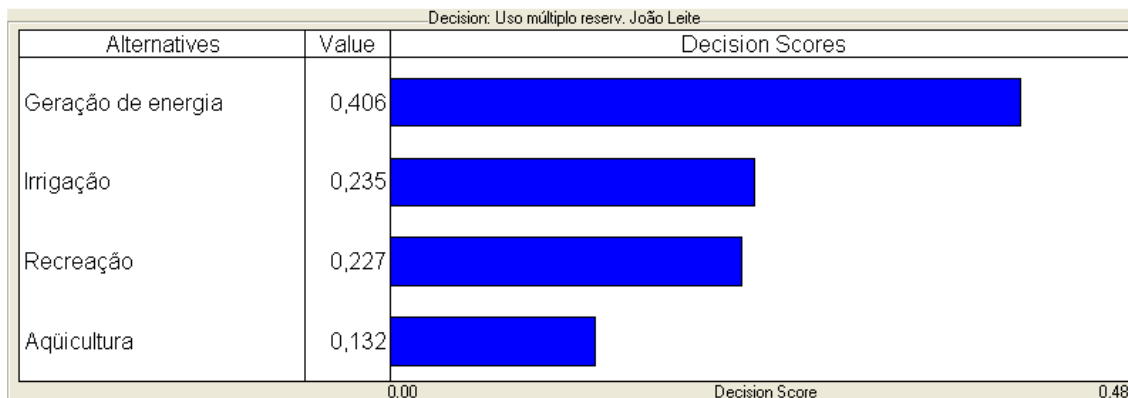


Figura 15 - Prioridades das alternativas de uso do reservatório João Leite após exclusão da opção “abastecimento”.

Fonte: *Criterium Decision Plus*.

É importante ressaltar que a introdução de novas alternativas pode mudar a posição relativa de algumas das alternativas originais na ordem de prioridades. Este fenômeno que ocorre com o uso do AHP é conhecido por *rank reversal*. Ele acontece quando uma alternativa é adicionada ao modelo e o seu nível de preferência se aproxima muito daquela que recebeu a mais alta prioridade na ordenação. Deste modo, a nova alternativa recebe uma grande parte das preferências que anteriormente tinham sido atribuídas à alternativa de maior ordem de prioridade, causando, portanto, uma mudança na ordem das prioridades¹¹³.

5.3.5 Análise de sensibilidade

O objetivo da análise de sensibilidade é identificar os parâmetros importantes, testar a conceitualização e melhorar a estrutura do modelo, por meio da interpretação dos resultados e reavaliação dos critérios (SCHRECK, 2002). Deste modo, ela possibilita a aplicação eficiente do modelo e subsidia o planejamento de pesquisas futuras com a proposta de recomendações (SIEBER e UHLENBROOK, 2005; BANA E COSTA *et al.*, 2002).

As análises de sensibilidade são efetuadas alterando os valores dos pesos dos critérios ou das preferências das alternativas. Estas mudanças podem mudar a ordem das prioridades, fazendo com que a atual alternativa preferida seja trocada

¹¹³ Devido à baixíssima participação do grupo de decisores e a necessidade de seguir o cronograma proposto para a realização do estudo de caso, não foi possível simular o fenômeno *rank reversal*, pois seria necessário que os membros do COBAMP respondessem outros questionários com a inclusão de uma nova alternativa.

por outra. Portanto, se a ordem das principais alternativas é alterada com uma pequena variação em um determinado valor de julgamento, então o modelo de decisão é considerado “sensível” àquele peso. Como a maioria dos pesos se baseia em julgamentos qualitativos, esta análise é importante para entender se o modelo é excessivamente sensível a tais pesos.

Para a análise de sensibilidade do modelo da barragem do ribeirão João Leite foi utilizado o programa *Criterion Decision Plus*. Ele gera uma série de gráficos¹¹⁴ que mostram como mudanças nos pesos dos critérios afetariam a decisão. Para determinar estas variações, o programa calcula um valor, em termos percentuais, denominado *crossover percentage*. Esta porcentagem representa a proximidade do ponto em que há alteração na ordem de prioridade das alternativas. Baixos valores indicam maior sensibilidade do critério a mudanças nos pesos. Isto implica que pequenas alterações nos pesos dos critérios ocasionam grandes variações nos escores de decisão, fazendo com que outra alternativa passe a ser preferida.

As porcentagens geradas para o modelo são apresentadas no quadro 25. Estes resultados se encontram em ordem decrescente de sensibilidade e demonstram que os critérios “operacionalidade” e “qualidade da água” são mais sensíveis a mudanças em seus pesos.

Quadro 25 – Sensibilidade dos critérios de avaliação a mudanças nos pesos

CRITÉRIOS	CROSSOVER PERCENTAGE
Operacionalidade	8,4 %
Qualidade da água	9,9 %
Repercussões políticas	21,4 %
Aceitação	25,3 %
Custo global	28,6 %
Benefícios	28,8 %

Fonte: Elaboração da autora com base nos resultados *Criterion Decision Plus*.

Além desta análise de sensibilidade realizada pelo programa, optou-se por efetuar outra, utilizando pesos diferentes para os critérios de avaliação¹¹⁵, com o

¹¹⁴ O *Criterion Decision Plus* gera um gráfico para cada critério, como mostram as figuras 1E a 6E, no anexo E.

¹¹⁵ Como mencionado anteriormente, os critérios foram considerados de igual importância e, conseqüentemente, todos os julgamentos dos pares de critérios receberam peso 1 (um). Por este motivo o fator de ponderação considerado para o cálculo dos escores de decisão foi igual a 0,167 para os seis critérios, ou seja, um dividido por seis.

intuito de observar os efeitos produzidos na ordenação das prioridades das alternativas. Para tanto, solicitou-se ao membro do COBAMP que realizasse uma série de comparações entre os pares de critérios, a fim de determinar a intensidade da importância relativa de um critério sobre o outro. Os pesos resultantes destas comparações¹¹⁶ foram inseridos no modelo e o programa *Criterion Decision Plus* gerou a ordenação de prioridades apresentada na figura 16.

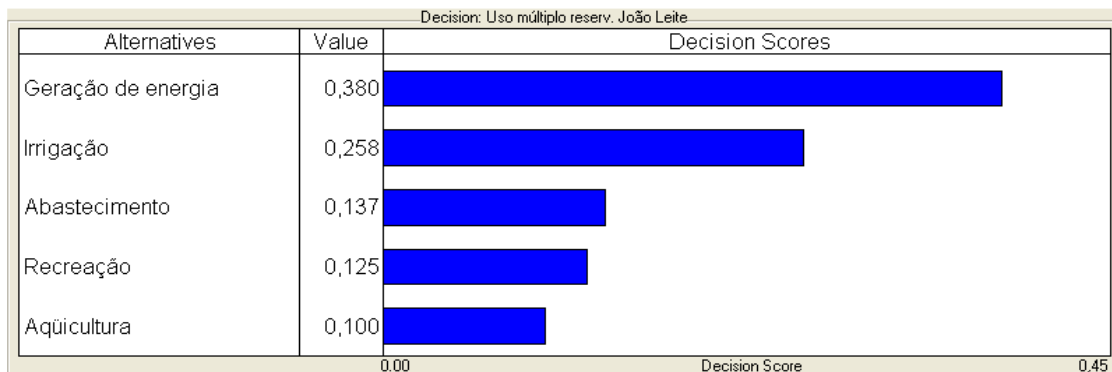


Figura 16 - Prioridades das alternativas considerando os pesos dos critérios.
Fonte: *Criterion Decision Plus*.

Nota-se que a inclusão dos pesos dos critérios de decisão não provocou a alteração na ordem das prioridades das alternativas. Somente os escores de decisão sofreram pequenas variações. A figura 17 mostra a representação gráfica das contribuições de cada critério de avaliação para a determinação dos escores de decisão das alternativas de uso de reservatórios.

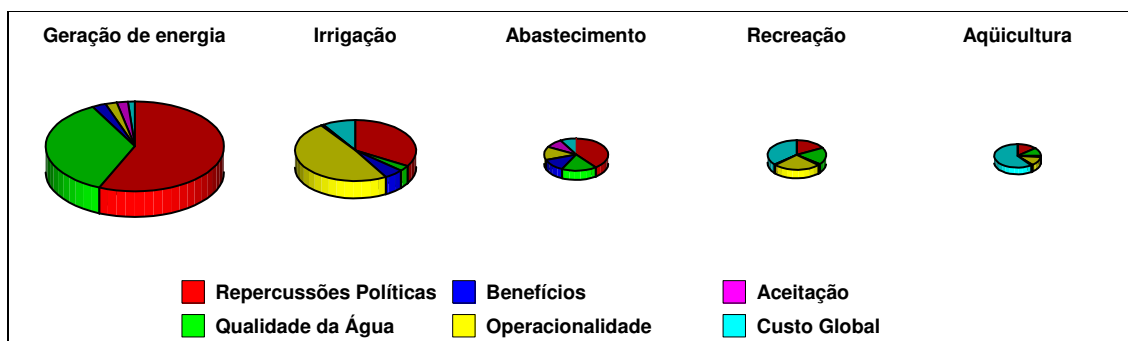


Figura 17 – Preferências de uso do reservatório João Leite de acordo com os critérios de avaliação.
Fonte: *Criterion Decision Plus*.

¹¹⁶ Todo procedimento foi baseado na metodologia AHP. Os pesos obtidos são apresentados no quadro 1E, no apêndice E.

Comparando as figuras 14 e 17, percebe-se que houve uma grande alteração na influência de cada critério na determinação das preferências das alternativas. Observa-se na figura anterior que, para a opção de geração de energia hidrelétrica, os critérios “qualidade da água” e “repercussões políticas” tiveram um peso muito maior que os demais critérios.

5.4 Considerações finais

O processo decisório referente a obras e políticas de recursos hídricos, historicamente, tem apresentado uma participação muito limitada de pequenos usuários da água e da sociedade, ficando restrito apenas ao poder público e grandes usuários e empreendedores. Mesmo com o advento da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº. 9.433/97, ainda são empregadas as formas tradicionais de tomada de decisão, com responsabilidade concentrada nas administrações federal e estadual.

As organizações de gestão por bacia hidrográfica não têm participado do processo decisório relativo à implementação de obras e políticas de recursos hídricos, com exceção de algumas experiências isoladas (TUCCI, HESPANHOL e CORDEIRO NETTO, 2001). Por outro lado, espera-se que os Comitês e as Agências de Bacias possam vir a exercer além do importante papel de fóruns consultivos, o de centros decisórios e executivos das políticas de recursos hídricos das bacias hidrográficas.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (COBAMP) é o órgão de gerenciamento incumbido da coordenação das atividades relacionadas aos recursos hídricos e usuários. No modelo de análise de decisão desenvolvido para a barragem do ribeirão João Leite, os membros do COBAMP foram considerados os atores do processo de decisão e sua participação se deu por meio de entrevistas e preenchimento de questionários. Neste estudo de caso, foi utilizado o método multicritérios de apoio à decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para analisar a eficácia da Análise Multicritérios como instrumento de avaliação das potenciais alternativas de uso múltiplo de reservatórios.

De modo geral, o modelo evidenciou várias características dos métodos multicritérios de análise de decisão, como: a agregação de valor à informação; o julgamento das alternativas em relação a critérios definidos e a priorização das opções em ordem decrescente de valor, de acordo com as preferências dos decisores. Com a utilização dos MMAD, não há necessidade de que todos os dados inseridos no modelo estejam corretos na primeira tentativa de modelagem, pois os dados considerados incertos ou duvidosos são submetidos à análise de sensibilidade. Este procedimento identifica quais insumos são realmente importantes para os resultados globais e provê aos atores envolvidos uma maior percepção do julgamento qualitativo das questões, aumentando o nível de confiança na tomada de decisão¹¹⁷.

Em relação ao método multicritérios *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o desenvolvimento do modelo proporcionou a constatação de uma importante característica: a flexibilidade. O AHP capacita os decisores a se adequarem às constantes mudanças, típicas de problemas inseridos em ambientes complexos e dinâmicos, ajudando-os na análise e síntese das informações. Esta técnica considera não só os aspectos econômicos, financeiros e técnicos, mas também os interesses sociais, culturais e políticos no processo de decisão. Os julgamentos realizados para construção dos modelos são contribuições pessoais dos tomadores de decisão, baseadas nas percepções, experiências, interesses e conhecimentos dos mesmos, pois o método incorpora em sua análise, com o mesmo grau de importância, tanto os elementos subjetivos quanto os elementos objetivos. Estas qualidades justificam a ampla utilização do método em todo o mundo, tanto no setor público quanto no privado, em áreas e situações diversas.

Por outro lado, é necessário que os analistas e os decisores conheçam os aspectos negativos do método. Um deles é a possibilidade de ocorrência do fenômeno conhecido por *rank reversal*. Trata-se da alteração da hierarquia de prioridades pela inclusão de uma nova alternativa. Outro aspecto negativo evidenciado nesta aplicação do método AHP é a grande quantidade de julgamentos. A maioria dos membros do COBAMP se mostrou desmotivada e desinteressada diante do volume de avaliações necessárias. Nenhum componente respondeu os

¹¹⁷ Se os resultados ainda não parecerem certos após a realização da análise de sensibilidade, então o modelo deve ser revisto. Nesse caso, é necessário um refinamento da ordenação da hierarquia de prioridades e dos pesos.

questionários dentro do prazo estipulado no edital de convocação. O presidente do Comitê reiterou a importância da participação de todos os integrantes do COBAMP e estipulou um novo prazo para entrega dos formulários preenchidos. Mesmo assim, somente dois membros atenderam à solicitação.

Diante destas evidências, é necessário ressaltar que o acréscimo de alternativas e critérios aumenta sensivelmente o trabalho dos decisores para julgar todos os pares de comparação. O AHP ainda prevê a possibilidade de repetição de todo processo para certificar que os atores não mudaram de opinião drasticamente ao final das avaliações. Logo, depreende-se que estas ocorrências podem agravar o problema da falta de motivação dos decisores para realizar os julgamentos.

A baixíssima participação dos integrantes do COBAMP também pode ser explicada pelo receio de que suas respostas fossem consideradas incorretas. Esta constatação se baseia na alegação de alguns membros de não disporem de tempo para responder os questionários corretamente e efetuar as comparações com a atenção necessária. Outros componentes do comitê se declararam incapazes de executar as avaliações solicitadas nos questionários por julgarem o procedimento muito complexo. Estes fatos podem ser inferidos como indícios de baixos níveis de escolaridade ou falta de conhecimentos específicos. As referidas atitudes também demonstram a resistência dos atores envolvidos à incorporação de elementos subjetivos para avaliação das alternativas de uso de reservatórios.

A análise de todos os fatores mencionados suscita a contestação de alguns dos principais aspectos positivos atribuídos ao *Analytic Hierarchy Process* (AHP). A maior parte da literatura pesquisada destaca como características do método: a simplicidade, a facilidade de entendimento e o estímulo à participação do grupo na avaliação dos aspectos mais relevantes e na discussão dos interesses conflitantes em busca de uma solução de consenso¹¹⁸. Os resultados desta pesquisa são menos otimistas. A aplicação do AHP na construção do modelo da barragem do ribeirão João Leite demonstrou o oposto do que é apregoado: a simplicidade pôde ser verificada apenas em relação à utilização do programa *Criterion Decision Plus*, que implementa o AHP; houve dificuldade de compreensão

¹¹⁸ Martins (1996) é um dos poucos autores que destacam como principal aspecto negativo da Análise Multicritérios o procedimento de obtenção dos julgamentos de valor. Ele considera um processo bastante trabalhoso, que requer muita habilidade do facilitador para a estruturação do problema e grande disponibilidade de tempo. Também é necessário que os decisores tenham formação técnica e apresentem um alto grau de motivação para mudanças.

dos procedimentos pelos decisores e estes não se sentiram estimulados a participar. Estas duas últimas constatações, no entanto, devem ser avaliadas com cautela.

É possível que os membros do COBAMB não tenham realizado as avaliações solicitadas principalmente por se tratar de uma simulação com o objetivo de coletar dados para o desenvolvimento de uma pesquisa científica¹¹⁹ e não uma situação concreta de decisão. O desinteresse pelas pesquisas científicas e a falta de senso de colaboração são características da população brasileira, justificadas, em parte, pela falta de conscientização dos indivíduos em relação à importância da sua participação na sociedade como atores imbuídos de responsabilidades e dotados de capacidade e poder para criar, transformar, questionar e exigir.

Outra ponderação que se faz necessária está relacionada à intervenção do facilitador ou analista. Uma de suas funções é encorajar os decisores a expressarem seus julgamentos para os pares de alternativas disponíveis, em relação a cada critério determinado, de maneira clara e consciente. No caso em estudo, em virtude da impossibilidade da realização de reuniões¹²⁰, os membros do COBAMP foram encorajados a efetuar as avaliações por meio de uma carta¹²¹, enviada juntamente com os questionários e o exemplo de preenchimento que detalhava minuciosamente o modo de execução das comparações entre os pares de alternativas de uso do reservatório. Entretanto, com a adoção deste procedimento, não foram realizados debates, nem negociação para a obtenção do consenso. Conseqüentemente, não foi possível proporcionar ao grupo de decisores a construção do conhecimento sobre o problema em foco.

A ocorrência das dificuldades para a obtenção dos julgamentos dos decisores, por outro lado, impulsionou a realização de uma análise crítica mais consistente sobre a aplicação do AHP, já que a literatura consultada não faz menção a aspectos negativos relacionados a estas questões práticas da construção de modelos. É oportuno mencionar que a maioria dos artigos pesquisados que abordam o método não trazem nenhuma inovação, se limitando à repetição de conceitos.

¹¹⁹ Já foi mencionado anteriormente que é os membros do COBAMP também não responderam outro questionário que subsidiaria uma dissertação de mestrado de um de seus integrantes.

¹²⁰ O presidente do COBAMP informou da dificuldade de obter a presença dos membros nas reuniões ordinárias. Durante a realização deste estudo de caso houve apenas uma reunião e, mesmo assim, após a entrega dos questionários respondidos. Não conseguimos que a discussão desta pesquisa fosse incluída na pauta da reunião.

¹²¹ Nesta carta foram apresentados o objetivo e as linhas gerais da pesquisa, a descrição do cenário e do contexto decisório do modelo e foi enfatizada a importância da colaboração de cada um.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A decisão de construir a barragem do ribeirão João Leite com a finalidade única de abastecimento contraria os princípios da eficiência e da equidade na gestão dos recursos hídricos. Há uma série de benefícios socioeconômicos que deixam de ser gerados e há custos que serão suportados somente pelas populações diretamente atingidas pela construção da barragem e formação do lago.

Apesar da dificuldade para o gerenciamento da qualidade da água, o uso múltiplo de reservatórios é uma opção eficaz para a manutenção do progresso material das populações e compatível com o desenvolvimento sustentável. A implantação de usos múltiplos em reservatórios visa à utilização mais eficiente dos recursos hídricos e ao desenvolvimento local e/ou regional. Busca-se, deste modo, obter benefícios palpáveis e efeitos multiplicadores para as populações, no intuito de compensar os impactos negativos provocados pela construção dos reservatórios e minimizar ou até mesmo evitar os conflitos relativos ao uso da água.

As dimensões destes conflitos prenunciam os desafios a serem enfrentados em relação à tomada de decisão sobre o atendimento às demandas setoriais de uso dos recursos hídricos. Torna-se evidente a necessidade de que estas decisões sejam tomadas não só para mitigar os problemas já existentes, mas, principalmente, para prevenir o seu aparecimento, sobretudo nas regiões onde os déficits hídricos tendem a aumentar.

O processo de decisão caracteriza-se pelo pouco conhecimento inicial sobre situação a ser enfrentada, por múltiplos objetivos e por interesses divergentes. Estas dificuldades podem ser mitigadas com a adoção de modelos multicritérios de análise de decisão. Eles possibilitam: a delimitação do problema, a caracterização do cenário que o envolve, a identificação dos principais atores intervenientes, a definição dos objetivos dos decisores e a explicitação das potenciais alternativas de decisão. Esta sistematização confere maior objetividade e confiabilidade ao processo de tomada de decisão.

Dentre os métodos multicritérios mais conhecidos e utilizados, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi considerado o mais adequado para a construção de um modelo de análise de decisão sobre o uso múltiplo de reservatórios. Este método, implementado pelo programa computacional *Criterion Decision Plus*, permitiu a

análise dos aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais e de engenharia inerentes ao uso múltiplo do lago formado pela barragem do ribeirão João Leite.

O modelo forneceu como resultado uma lista das alternativas de uso do reservatório, classificada em ordem decrescente de prioridades, de acordo com as preferências dos decisores. Na primeira posição da lista se destacou a alternativa “geração de energia hidrelétrica”. Em seguida apareceram as alternativas: irrigação, abastecimento, recreação e, por último, aqüicultura. Isto significa que a geração de energia hidrelétrica foi julgada a melhor opção que poderia ser implantada na barragem do ribeirão João Leite¹²².

A atividade de geração de energia não interferiria na qualidade da água e representaria, no mínimo, uma considerável redução dos gastos da SANEAGO com energia elétrica¹²³. A irrigação permitiria a fixação do homem no campo, gerando renda, empregos e bem estar social¹²⁴. A atividade de lazer não fica inviabilizada. Apesar da necessidade de atendimento aos requisitos de qualidade para a água destinada ao abastecimento, o reservatório pode ser utilizado para a prática de esportes náuticos não motorizados e a pesca amadora. Também é possível implementar o ecoturismo aliado a um programa de educação ambiental, como uma nova atividade econômica para os proprietários de áreas lindeiras ao reservatório. A aqüicultura é outra opção para geração de renda para as propriedades remanescentes, embora também haja restrições quanto à manutenção da qualidade da água.

É necessário ressaltar que tomada de decisão é uma função humana. O papel do modelo é apenas auxiliar os decisores, garantindo qualidade, organização e documentação do processo de análise de decisão, explicitando valores de julgamentos, analisando objetivos conflitantes, compartilhando o entendimento sobre as questões e, freqüentemente, promovendo consenso. Ele indica as alternativas

¹²² Quando a intenção é selecionar mais do que uma única alternativa, basta seguir a classificação de prioridades da lista de alternativas fornecida pelo modelo. No caso específico da barragem em estudo, se houvesse o interesse de implantar mais tipos de uso, a opção de abastecimento deve ser ignorada, pois esta é a finalidade única planejada para o reservatório.

¹²³ No caso, haveria necessidade da realização de estudos de viabilidade técnico-econômica dos aproveitamentos hidrelétricos para definir as características físicas das estruturas de geração, compatibilizando-as ao projeto de abastecimento (BORGES NETO, SOARES e PAIVA JÚNIOR, 2002).

¹²⁴ Uma proposta tecnicamente viável, apresentada por Borges Neto, Soares e Paiva Júnior (2002), é a implantação de um projeto de agricultura orgânica irrigada fora da faixa de proteção do reservatório.

para solução do problema, mas a escolha por uma ou várias delas cabe aos decisores.

Os resultados obtidos com o modelo estão coerentes e são compatíveis com os resultados da avaliação do potencial de uso múltiplo do reservatório João Leite realizada por Borges Neto, Soares e Paiva Júnior (2002). Isto mostra que, com o emprego da análise multicritérios, é possível utilizar os julgamentos subjetivos dos atores envolvidos no processo decisório, com precisão e confiabilidade, conferindo maior aceitabilidade, transparência e robustez à decisão.

Pelo exame das porcentagens que indicam como mudanças nos pesos dos critérios afetariam a decisão (*crossover percentages*), foi constatado que os critérios “operacionalidade” e “qualidade da água” são mais sensíveis a variações. Isto implica que há possibilidade de que pequenas alterações em seus pesos façam com que outra alternativa passe a ser preferida. Porém, a análise de sensibilidade realizada, com a inclusão de pesos diferenciados para todos os critérios, demonstrou que não ocorreu nenhuma variação na classificação das prioridades das alternativas. A hierarquia, por conseguinte, pode ser considerada bem estruturada e estável.

O modelo desenvolvido pode ser utilizado por grupos de decisores para a seleção de alternativas de uso múltiplo de reservatórios e para as questões relacionadas à gestão de recursos hídricos que envolvam situações de conflito. A estrutura hierárquica é flexível e perfeitamente adaptável às diversas situações, permitindo a inclusão ou exclusão de critérios, sub-critérios e alternativas. A única recomendação é que sejam explorados os processos de negociação e busca pelo consenso, pois o estímulo ao pensamento sistemático propagado pelo AHP fornece aos atores envolvidos um maior conhecimento sobre as questões inerentes ao problema. O conhecimento, por sua vez, compele o grupo de decisores à análise dos aspectos mais relevantes, desenvolvendo uma visão global do problema e conduzindo a uma decisão única e consensual.

Diante do exposto, depreende-se que o modelo desenvolvido com base no método multicritérios de apoio à decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP), apesar de não ser definitivo, demonstra ser uma ferramenta útil para orientação dos decisores nas situações em que haja conflitos relativos ao uso de recursos hídricos, tornando o processo de decisão mais transparente, democrático e realista. Sua utilização proporciona aos decisores: uma reprodução simplificada da realidade; a

incorporação de elementos objetivos e subjetivos; a inserção de todas as variáveis que possam interferir na tomada de decisão; a unificação dos pontos de vista por meio de consenso e objetividade para a escolha das alternativas. Todavia, para assegurar o sucesso da aplicação do modelo, é imprescindível o auxílio do facilitador para que os atores envolvidos compreendam todas as etapas da estruturação do problema e tenham uma visão global do processo.

Com base na avaliação dos resultados obtidos e na crítica de todos os fatores intervenientes do processo de construção do modelo, conclui-se que o emprego da Análise Multicritérios como instrumento de avaliação das potenciais alternativas de uso múltiplo de reservatórios pode ser eficaz. A eficácia fica condicionada à disponibilidade de dados; à habilidade do analista para estruturar a hierarquia, perceber as possíveis inconsistências nos julgamentos dos decisores e conduzir novas avaliações; ao comprometimento e à disposição dos decisores em participar de todo o processo.

A utilização de métodos multicritérios de análise de decisão na gestão de usos múltiplos e integrados dos recursos hídricos pode contribuir para a consolidação da gestão participativa. Para consecução deste intento, deve ser estabelecido um processo sistemático de interação entre os atores públicos e privados, para que haja disseminação de informações e de experiências, e, deste modo, promover a construção do conhecimento e estimular o desenvolvimento de novas técnicas de utilização dos recursos hídricos.

É importante salientar que devido à inexistência de outras aplicações dos MMAD na área de uso múltiplo de reservatórios, há muitas oportunidades de aprendizagem e de aperfeiçoamento do modelo. Esta dissertação pode, por conseguinte, impulsionar outras pesquisas em busca de mais informações e aprimoramento do modelo. Para tanto, sugere-se: aplicar o modelo a estudos de casos reais de outros reservatórios e comparar com os resultados obtidos para a barragem do ribeirão João Leite; averiguar se o modelo desenvolvido é adequado a quaisquer reservatórios e determinar as limitações para sua aplicabilidade; considerar novos fatores contextuais; procurar outras formas de modelar os pontos de vista fundamentais dos decisores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Lucijane Monteiro de; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo; GARTNER, Ivan; BERNARDES, Ricardo Silveira. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p. 257-262, 2000. Disponível em: <www.agriamb.com.br/revista/v4n2/257.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2004.

ADLER, Mathew D; POSTNER, Eric A. **Rethinking Cost-Benefit Analysis**. Chicago: Chicago University, 1999. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=164902#PaperDownload>. Acesso em: 04 abr. 2004.

ALMASRI, Mohammad N.; KALUARACHCHI, Jagatah J. Multi-criteria decision analysis for the optimal management of nitrate contamination of aquifers. **Journal of Environmental Management**, v. 74, n. 4, p. 365–381, mar. 2005. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jenvman>. Acesso em: 14 out. 2005.

AL-TABTABAI, Hashem; THOMAS, Varghese P. Negotiation and resolution of conflict using AHP: an application to project management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 11, n. 2, p. 90-100, 2004. Disponível em: <<http://taddeo.emeraldinsight.com/10.1108/09699980410527894>>. Acesso em: 14 out. 2005.

ARMACOST, Robert L.; HOSSEINI, Jamshid C.; PET-EDWARDS, Julie. Using the Analytic Hierarchy Process as a two-phase integrated decision approach for large nominal groups. **Group Decision and Negotiation**, v. 8, n. 6, p. 535-555, 1999. Disponível em: <<http://www.jem.org.tw/content/pdf/Vol.1No.2/06.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2005.

ASAHI, Toshiyuki; TURO, David; SHNEIDERMAN, Ben. **Visual decision-making: Using tree maps for the Analytic Hierarchy Process**. Maryland: University of Maryland, 1994. Disponível em: <http://sigchi.org/chi95/Electronic/documnts/videos/ta_bdy.htm>. Acesso em: 07 abr. 2005.

AZIBI, R.; VANDERPOOTEN, D. Aggregation of dispersed consequences for constructing criteria: the evaluation of flood risk reduction strategies. **European Journal of Operational Research**, v. 144, p. 397-411, jan. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 14 out. 2005.

BAASCH, Sandra S. N. **Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão de resíduos sólidos nos municípios catarinenses**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Florianópolis: UFSC, 1995.

BAKER, Douglas; YOUNG, Jane; AROCENA, J. M. An integrated approach to reservoir management: the Williston reservoir case study. **Environmental Management**, v. 25, n. 5, p. 565-578, 2000.

BANA E COSTA, Carlos A. **Como melhorar a tomada de decisão nas organizações? MACBETH: princípios, metodologia e casos reais de aplicação**. Fortaleza: UEC, 2006. Disponível em: <http://alfa.ist.utl.pt/~cbana/bin/help/papers/AMetodologiaMACBETHFaculdadeChristus23_3_06.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2006.

BANA E COSTA, Carlos A. **The 'LSE Decision Analysis School of Thought' in practice: creating a vision for Puerto Rico 2025**. Londres: London School of Economics and Political Science, 2005. Disponível em: <<http://www.deg.ist.utl.pt/ensino/modelos.decisao/docs/CreatingVisionforPuertoRico2025.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2006.

BANA E COSTA, Carlos A.; CHAGAS, Manuel P. **A career choice problem: an example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on quantitative value judgments**. Londres: London School of Economics and Political Science, 2002. Disponível em: <<http://www.lse.ac.uk/collections/operationalResearch/pdf/lseor02.53.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2005.

BANA E COSTA, Carlos A.; CORRÊA, Émerson C.; DE CORTE, Jean-Marie; VANSNICK, Jean-Claude. Facilitating bid evaluation in public call for tenders: a socio-technical approach. **Omega – The International Journal of Management Science**, n. 30, p. 227-272, 2002. Disponível em: <<http://www.catalyze.co.uk/facilitating%20bid%20evaluation.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2006.

BANA E COSTA, Carlos A.; DE CORTE, Jean-Marie; VANSNICK, Jean-Claude. **On the mathematical foundations of MACBETH**. Londres: London School of Economics and Political Science, 2004. Disponível em: <<http://www.lse.ac.uk/collections/operationalResearch/pdf/Cover%20LSEOR%2003.61.doc>>. Acesso em: 11 maio 2006.

BANA E COSTA, Carlos A.; ENSSLIN, Leonardo; CORRÊA, Emerson C., VANSNICK, Jean-Claude. Decision support systems in action: integrated application

in a multicriteria decision aid process. **European Journal of Operational Research**, n. 113, p. 315-335, 1999.

BANA E COSTA, Carlos A.; VANSNICK, Jean-Claude. MACBETH – An interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International Transactions in Operational Research**, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.

BANA E COSTA, Carlos A.; SILVA, Paula Antão; CORREIA, Francisco Nunes. Multicriteria evaluation flood control measures: the case of Ribeira do Livramento. **Water Resources Management**, v. 18, n. 3, p. 263-283, 2004.

BANA E COSTA, Carlos. A.; VANSNICK, Jean-Claude. **A fundamental criticism to Saaty's use of the eigenvalue procedure to derive priorities**. Londres: The London School of Economics and Political Science, 2001. Disponível em: <<http://www.lse.ac.uk/collections/operationalResearch/pdf/Working%20paper%2001.42.doc>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

BARBAROSOGLU, Gulay; PINHAS, David. **Capital rationing in the public sector using the analytic hierarchy process**. 1995. Disponível em: <<http://bw-www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpeper2.html>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

BEINAT, Euro; NIJKAMP, Peter. **Multicriteria analysis for land-use management**. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1998. Disponível em: <www.inescc.pt/~ewgmcda/BeinatNijkampBook.html>. Acesso em: 07 nov. 2004.

BORGES NETO, Antônio Martins; SOARES, Jader Brito; PAIVA JÚNIOR, Otacílio Ferreira de. **Reservatório João Leite: avaliação do potencial de uso múltiplo**. Monografia (Especialização em gerenciamento de recursos hídricos). Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2002.

BORITZ, J. Efrim. **Pairwise Comparison - The Analytic Hierarchy Process**. Waterloo: University of Waterloo, 1992. Disponível em: <<http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

BRASIL. **Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/9433-97.htm>>. Acesso em: 17 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Agência Nacional de Águas - ANA. **Usos múltiplos**. 2005. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gestaoRechidricos/UsosMultiplos>>. Acesso em: 08 mar. 2005.

CARVALHO, Davi Perez; SPECIAN, Valdir; MENDONÇA, Jucélia Cabral; DEBASTIANE, Willian George; SANCHES, Patrícia Salvador; SILVA, Marcelo Bento da; KOTAS, Jorge Eduardo; MASCARO, Sofia Amorim. Caracterização dos aspectos físicos e degradação ambiental na bacia do reservatório do Lobo (Ribeirão Lobo). In: **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos: RiMa, 2002.

CHEN, Chi-Kuang; GUSTAFSON, David H.; LEE, Yuan-Duen. The effect of a quantitative decision aid – Analytic Hierarchy Process – on group polarization. **Group Decision and Negotiation**, v. 11, n. 4, p. 329-344, 2002.

CHOIRAT, Christine; SERI, Raffaello. **Analytic Hierarchy Process**, a Psychometric Approach. Itália: Dipartimento di Economia di Università dell'Insubria, 2001. Disponível em: <http://eco.uninsubria.it/dipeco/paper_Choirat.pdf.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2005.

CHWOLKA, Anne; RATH, Mathias G. Supporting group decisions with the AHP: harmonization vs. aggregation of preferences. In: WANKA, G. **Decision theory and optimization in theory and practice**. Aachen: Shaker, 2000. pp. 17-32.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF. **Usos múltiplos**. 2005. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/menu/os_vales/usos>. Acesso em: 08 mar. 2005.

CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P. Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo. **Revista Brasileira de Energia**, v. 4, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acesso em: 05 maio 2004.

CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da; BIANCHINI JÚNIOR, Irineu. Estequiometria da decomposição aeróbia de galhos, cascas, serapilheira e folhas. In: **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos: RiMa, 2002.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2005.

DANTAS, Vera. Água: sabendo usar, não vai faltar. **Brasil Nuclear**, ano 9, n. 24, Mar. 2002. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/texto/rev24/8.htm>>. Acesso em 08 mar. 2005.

DECLARAÇÃO DE PARIS, 1998. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/docref/paris.html>>. Acesso em: 01 mar. 2005.

DIAKOULAKI, Danae; MAVROTAS, George. **Stakeholder Workshops & Multicriteria Analysis**. Grécia: National Technical University Athens, 2004. Disponível em: <<http://www.arirabl.com/papers/WP6%20MCA%20Stakeholders%20FinalReport+Q.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2006.

DODGSON, John; SPACKMAN, Michael; PEARMAN, Alan; PHILLIPS, Lawrence. **DTLR multi-criteria analysis manual**. Reino Unido: DTLR – Department for Transport, Local Government and the Regions, 2001. Disponível em: <http://www.odpm.gov.uk/pub/252/MulticriteriaanalysismanualPDF1380Kb_id1142252.pdf>. Acesso em: 11 maio 2006.

DOMÉNECH, Santiago Reyna; ROMERO, Francisco Cardells i. Valoración AHP de los ecosistemas naturales de la Comunidad Valenciana. **Revista Valenciana d'Estudis Autònoms**, n. 27, 1999. Disponível em: <http://www.pre.gva.es/argos/fileadmin/argos/datos/RVEA/libro_27/153-27.pdf>. Acesso em: 11 maio 2006.

DORNFELD, Carolina Buso; MASUTTI, Mariana Beraldo; SILVÉRIO, Patrícia Ferreira; ANDRADE, Cássio Arilson de; ALMEIDA, Caio Augusto de. In: **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos: RiMa, 2002.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Utility theory in consumer behavior**. 2006. Disponível em: <<http://www.referenceforbusiness.com/management/Tr-Z/Utility-Theory.html>>. Acesso em: 27 nov. 2006.

DRAKE, P. R. **Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education**. United Kingdom: Tempus Publications, 1998. Disponível em: <<http://www.ijee.dit.ie/articles/Vol14-3/ijee1017.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2000. Disponível em:

<http://www.eletronbras.com/EM_Atualcao_Manuais/default.asp>. Acesso em: 26 dez. 2005.

ENSSLIN, Sandra Rolim. **A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1996. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta/ensslin/indice/index.html>>. Acesso em:

FARIA, Karla Maria Silva de; CASTRO, Selma Simões; LIMA, Cláudia Valéria de. **Uso do solo na bacia do ribeirão João Leite em 1960 e 2003 e sua relação com os impactos ambientais**. Goiânia: IESA-UFG, 2004.

FERNANDES, Carlos Henrique. **Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social** – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1996. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta97/fernandes>. Acesso em: 03 nov. 2004.

FINNIE, G.R.; WITTIG, G.E. **An Intelligent Web Tool for Collection of Comparative Survey Data**. Austrália: School of Information Technology Bond University, 1999. Disponível em: <<http://www.it.bond.edu.au/publications/99TR/99-10.PDF>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

FLAMENT, Michel. **Glosario multicriterio**. Espanha: Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio, 1999. Disponível em: <www.unesco.org/uy/red-m/glosariom.htm>. Acesso em: 19 nov. 2004.

FORMAN, Ernest H.; GASS, Saul I. The Analytic Hierarchy Process – An exposition. **Operations Research**, v. 49, n. 4, p. 469-486, July-Aug 2001. Disponível em: <<http://www.johnsaunders.com/papers/ahpexpo.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2006.

GARRIDO, Raymundo José. O combate à seca e a gestão dos recursos hídricos no Brasil. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informações de Recursos Hídricos**. Brasília: Designun, 1999.

GARTNER, Ivan Ricardo. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas**. Brasília: Editora Universa, 2001.

GOIÁS. Agência Ambiental. Apresenta características da barragem do ribeirão João Leite. Disponível em:
<http://www.agenciaambiental.go.gov.br/geogoiias/geo_cont_3_3_3ambi.php>.
Acesso em: 11 jul. 2005.

GOIÁS. **Barragem do João Leite garante abastecimento**. 2005a. Disponível em:
<<http://www.goias.go.gov.br/index.php?idMateria=2326>>. Acesso em: 11 jul. 2005.

GOIÁS. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte**. 2005b. Disponível em:
<http://www.semarh.goias.gov.br/mp_comite.php>. Acesso em: 18 jul. 2005.

GOIÁS. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH. Cerrado: preservação e desenvolvimento. 2005c. **Documento Final da I Conferência Estadual do Meio Ambiente**. Pirenópolis: 2005.

GOMES, Eliane; ALENCAR, Maria de C. **Índice de produção ponderado de atividades de bibliotecas**: uma abordagem multicriterial. *Ciência da Informação*, v. 34, n. 1, 2005. Disponível em:
<<http://www.ibict.br/cionline/viewarticle.php?id=630&layout=html>>. Acesso em: 21 dez. 2005.

GOMES, L. C.; MIRANDA, L. E. Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs upper Paraná River Basin, Brazil. **Hidrobiologia**, n. 457, p. 205-214, 2001.

GOMES, Luiz Flávio Monteiro. Teaching decision making analytical skills to engineers: a new paradigm. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Disponível em:
<<http://www.ctc.puc-rio.br/icee-98/lcee/papers/365.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2005.

GOMES, Luiz Flávio Monteiro; MOREIRA, Antônio Manuel Machado. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. In: **RECITEC**, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998. Disponível em:
<www.fundaj.gov.br/rtec/res/res-001.html>. Acesso em: 06 nov. 2004.

GONÇALVES, Raimundo Wilson. **Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: UNIFOR, 2001.

GUGLIELMETTI, Fernando Ribeiro; MARINS, Fernando A. Silva; SALOMON, Valério A. Pamplona. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão

por múltiplos critérios. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Ouro Preto, 2003. **Anais...** Disponível em: <<http://www.fsa.br/producao/arquivos/exemplo-artigo.doc>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

HAERER, Walt. **Criterion Decision Plus 3.0**. ORMS: 2000. Disponível em: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-00/swr.html>>. Acesso em: 26 dez. 2005.

HAHN, Eugene D. Decision making with uncertain judgments: a stochastic formulation of the Analytic Hierarchy Process. **Decisions Sciences**, v. 34, n. 3, 2003. Disponível em: <<http://faculty.salisbury.edu/~edhahn/smcdm.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2005.

HAJSHIRMOGAMMADI, Ali; WEDLEY, William. Maintenance management – an AHP application for centralization/decentralization. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 1, 2004. pp. 16-25. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/Insight/viewContainer.do?containerType=Issue&containerId=21390>>. Acesso em: 14 out. 2005.

HÄMÄLÄINEN, Raimo; KETTUNEN, Eero; EHTAMO, Harri. Evaluating a framework for multi-stakeholder decision support in water resources management. **Group Decision and Negotiation**, v. 10, n. 4, p. 331-353, 2001. Disponível em: <http://www.environmentalfutures.org/Images/ArmyPaper_Oct31.pdf>. Acesso em: 14 out. 2005.

HENING, Mordecai I.; BUCHANAN, John T. **Decision making by multiple criteria: a concept of solution**. Portugal: 1994. Disponível em: <<http://www.mngt.waikato.ac.nz/jtb/procon.htm>>. Acesso em: 06 nov. 2004.

HUIZINGH, Eelko K. R.; VROLIJK, Hans C. J. Extending the applicability of de Analytic Hierarchy Process. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 31, n. 1, p. 29-39, 1997.

ISHIZAKA, Alessio. **Advantages of clusters and pivots in AHP**. Switzerland: University of Basel, 2004. Disponível em: <<http://www.wwz.unibas.ch/wi/members/ishizaka/MUDSM04.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

JANSEN, Leila K. Canegusuco; SHIMIZO, Tamio; JANSEN, José Ulisses. Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. In: XXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Florianópolis, 2004. **Anais...** Disponível em:

<http://www.producaoonline.inf.br/v04n04/artigos/PDF/Enegep0304_0389.pdf>.
Acesso em: 07 abr. 2005.

JIANYUAN, Yan. **Using Analytic Hierarchy Process as the auxiliary decision of computer integrated system for library management (CISLM)**. China: Nankai University, 1992. Disponível em: <<http://web.simmons.edu/~chen/nit/NIT'92/387-yan.htm>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

KAHN, James R. **Characteristics and criteria for environmental decision-making: implications for materials policy**. Rio de Janeiro: IMAAC/UNIDO, 2001. Disponível em: <<http://w3.cetem.gov.br/imaac/reports.html>>. Acesso em: 17 nov. 2004.

KATAYAMA, Kengo; KOSHIISHI, Takahiro; NARIHISA, Hiroyuki. **Reinforcement Learning Agents with Primary Knowledge Designed by Analytic Hierarchy Process**. Okayama: Okayama University of Science, 2005. Disponível em: <<http://k2x.ice.ous.ac.jp/~katayama/paper/2005-SAG-ahp-agent.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

KOPP, Raymond J.; KRUPNICK, Alan J.; TOMAN, Michael. **Cost-Benefit Analysis and regulatory reform: an assessment of the science and the art**. Washington: Resources for the Future, 1997. Disponível em: <<http://www.rff.org/Documents/RFF-DP-97-19.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2004.

KIM, Sung Chul. **Statistical Issues in Combining Expert Opinions for Analytic Hierarchy Process**. Coréia: Soongsil University, 1999. Disponível em: <http://www.stat.fi/isi99/proceedings/arkisto/varasto/kim_0217.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2005.

LAININEN, Pertti; HÄMÄLÄINEN, Raimo P. **Analyzing AHP-matrices by Robust Regression**. Helsinki: Helsinki University of Technology, 1999. Disponível em: <<http://www.sal.hut.fi/Publications/pdf-files/plai99.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

LANNA, Antônio Eduardo. Gestão dos Recursos Hídricos. In: **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. cap. 19, p. 727-768.

LANNA, Antônio Eduardo. Modelos de gerenciamento das águas. **A água em revista**, Belo Horizonte, ano V, n. 8, p. 24-33, mar. 1997.

LEAL, Antônio César; HERRMANN, Hidelbrando. Gestão dos Recursos Hídricos e a Construção de Cidades Produtoras de Água no Próximo Milênio. In: **Água em**

quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1999. CD-ROM.

LEITE, Maurício Augusto; ESPÍNDOLA, Evaldo L. Gaeta. Análise do Processo de eutrofização entre os reservatórios de Salto Grande (22° 44' e 47° 15'W) e do Lobo (22° 10' e 47° 57'W). In: **Recursos hidroenergéticos:** usos, impactos e planejamento integrado. São Carlos: RiMa, 2002.

LINK, Volker Reinhold; ROSA, Sylvio Lopes da. **Plano diretor de uso de reservatórios de aproveitamentos hidráulicos e seus entornos.** São Paulo: OCTA, 2000. Disponível em: <<http://www.octa.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2004.

LISBOA, Marcus Vinícius; WAISMAN, Jaime. Aplicação do Método de Análise Hierárquica - MAH para o Auxílio à Tomada de Decisão em Estudos de Alternativas de Traçado de Rodovias. XVII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Rio de Janeiro, 2003. **Anais...** Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/ARTIGO422.htm>>. Acesso em: 29 mar. 2005.

MA, Jian; FAN, Zhi-Ping; WEI, Quan-Ling. **Existence and construction of weigh-set for satisfying preference order of alternatives based on additive multi-attribute value model.** 1998. Disponível em: <<http://www.is.cityu.edu.hk/Research/WorkingPapers/paper/9803.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2005.

MAGALHÃES, Paulo Canedo de. Recursos hídricos. **O Serviço Geológico**, Rio de Janeiro, 14 jul. 2006. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jul. 2006.

MASSAÚD, Clóvis. **Prospecção de cenário:** método DELPHI. Disponível em: <<http://www.clovis.massaud.nom.br/prospec.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2006.

MARTINS, Franco Muller. **Aplicação de metodologia multicritério de apoio à decisão na avaliação de políticas de gerenciamento em uma empresa orizícola.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1996. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta96/martins/index/index.htm>>. Acesso em: 12 maio 2006.

MELLO, João C. C. B. S. de; GOMES, Eliane Gonçalves; GOMES, Luiz F. A. M; BIONDI NETO, Luiz; LETA, Fabiana R. Seleção de rota aérea com o uso do apoio multicritério à decisão. **ENGEVISTA**, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003. Disponível em: <www.uff.br/decisao/10Engvista6.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2004.

MENDOZA, Guillermo A.; MACOUN, Phil; PRABHU, Ravi; SUKADRI, Doddy; PURNOMO, Herry; HARTANTO, Herlina. **Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators**. Jakarta: Center for International Forestry Research, 1999. Disponível em: <www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html>. Acesso em: 18 nov. 2004.

NORONHA, Sandro Mac Donald. **Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1998. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta98/noronha>. Acesso em: 07 nov. 2004.

OLIVEIRA, Eduardo Felipe C. C. de; CATÃO CURI, Rosires; FADLO CURI, Wilson. Simulação da operação e estimativa dos benefícios sociais e econômicos do reservatório Coremas / Mãe d'Água sujeito a múltiplos usos. In: **Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1999. CD-ROM.

OLIVEIRA, Edson F. de; MINTE-VERA, Carolina V.; GOULART, Erivelto. Structure of fish assemblages along spatial gradients in a deep subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay border). **Environmental Biology of fishes**, n. 72, p. 283-304, 2005.

OLIVEIRA, Luiza C. K.; SOUSA JÚNIOR, Wilson C. Uso eficiente da água no Brasil: atualidades e visão de futuro. In: **Integrando a gestão de águas às políticas sociais e de desenvolvimento econômico**. João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2005. CD-ROM.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. In: **Relatório da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano - CNUMAD**. Rio de Janeiro: 1992. cap. 18. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/agenda21/ag18.htm>>. Acesso em: 10 maio 2004.

PAMPLONA, Edson de Oliveira. **Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1999. Disponível em: <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Artavalaahp.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

PEREIRA, Camila C. G. Francisco; SMITH, Welber Senteio; ESPÍNDOLA, Evaldo L. Gaeta; ROCHA, Odete. Alterações tróficas nas espécies de peixes em decorrência da construção de reservatórios em cascata no médio e baixo rio Tietê. In: **Recursos**

hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado. São Carlos: RiMa, 2002.

PORTO, Rubem La Laina; BOMBONATO NETO, Constante; LISBOA NETO, Honório; CASTRO, Hélio Luiz; SILVA, Sérgio Antônio da. Sistema de suporte a decisões para a operação dos grandes sistemas produtores da SABESP. In: **Água em quantidade e qualidade:** o desafio do próximo milênio. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1999. CD-ROM.

PRADO, Rachel Bardy. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água. In: **Recursos hidroenergéticos:** usos, impactos e planejamento integrado. São Carlos: RiMa, 2002.

PRATO, Tony. Multiple-attribute evaluation of ecosystem management for the Missouri River system. **Ecological Economics**, n. 45, 2003. pp. 297-309.

RAMANATHAN, R.; GANESH, L. S. Energy resource allocation incorporating quantitative and qualitative criteria: an integrated model using goal programming and AHP. **Socio-Economic Planning Sciences**, V. 29, n. 3, 1995. pp. 197-218.

REIS, Rosângela Sampaio; CASSIANO, Andréia Márcia; ESPÍNDOLA, Evaldo L. Gaeta. Processos sedimentares na represa do Lobo, SP: relação entre o uso do solo e a qualidade da água. In: **Recursos hidroenergéticos:** usos, impactos e planejamento integrado. São Carlos: RiMa, 2002.

RIBEIRO JÚNIOR, Leopoldo U.; SANTOS, Afonso H. M.; BORTONI, Edson C. Aplicação dos conceitos “duração e frequência de transgressão” com vistas a garantir os usos múltiplos da água oriundos da implantação de reservatórios. In: **Integrando a gestão de águas às políticas sociais e de desenvolvimento econômico.** João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2005. CD-ROM.

ROBERTO, Alexandre Nunes; PORTO, Rubem La Laina. Alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica. In: **Água em quantidade e qualidade:** o desafio do próximo milênio. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1999. CD-ROM.

RODGHER, Suzelei; ESPÍNDOLA, Evaldo L. Gaeta; FRACÁCIO, Renata; RODRIGUES, Maria Helena; PEREIRA, Ricardo H. Gentil; ROCHA, Odete. Estudos ecotoxicológicos nos reservatórios em cascata do médio e baixo rio Tietê: uma avaliação dos impactos ambientais. In: **Recursos hidroenergéticos:** usos, impactos e planejamento integrado. São Carlos: RiMa, 2002.

ROSAKIS, S.; SOURIE, J. C.; VANDERPOOTEN, D. Integrated micro-economic modeling and multi-criteria methodology to support public decision-making: the case of liquid bio-fuels in France. **Biomass and Energy**, n. 20, p. 385-398, 2001.

SÁ, Alexander Max Figueiredo de. **Água – uso múltiplo e energia**. 2001. Disponível em: <<http://www.abdl.org.br/>>. Acesso em: 11 maio 2004.

SAATY, Thomas L. The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process. In: Köksalan, Murat; Zionts, Stanley. **Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium**. E.U.A.:Springer, 2001.

SAATY, Thomas L. Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process. **Management Science**, v. 32, n. 7, p. 841-855. 1986.

SAATY, Thomas L.; CHO, Yeonmin. The decision by the US congress on China's trade status: a multicriteria analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, n. 35, p. 243-252. 2001.

SALOMON, Valério A. P.; MONTEVECHI, José A. B. A compilation of comparisons on the Analytic Hierarchy Process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil. **ISAHP**, Switzerland, aug. 2001. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~salomon/pesquisa/vapsjabm.pdf>>. Acesso em: 07 abr.2005.

SALOMON, Valério P.; MONTEVECHI, José A. B.; PAMPLONA, Edson O. Justificativas para Aplicação do Método de Análise Hierárquica. In: ENEGEP, 19, 1999, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: 1999. Disponível em: <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Artahp99.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2005.

SANEAGO - EMPRESA DE SANEAMENTO DE GOIÁS. **Barragem do ribeirão João Leite**. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/novasan/?id=programas4&tit=programas>>. Acesso em: 11 jul. 2005.

SANTOS, Rosinete B.; FADLO CURI, Wilson; CATÃO CURI, Rosires. Aplicação do método multicriterial PROMETEE para ampliação da disponibilidade hídrica na bacia do rio Gramame – PB. In: **Integrando a gestão de águas às políticas sociais e de desenvolvimento econômico**. João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2005. CD-ROM.

SAUNDERS, John H. **Comparison of Decision Accuracy in the Analytic Hierarchy Process and Point Allocation**. Washington: 1994. Disponível em: <<http://www.johnsaunders.com/papers/ahpvpa/ahpvpa.htm>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

SCHMIDT, Ângela Maria Atherino. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1995. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta/angela/index/index.html>>. Acesso em: 06 nov. 2004.

SCHMOLDT, Daniel L.; PETERSON, David L. **Using de AHP in a workshop setting to elicit and prioritize fire research needs**. E.U.A.: Forest Science, 1997. Disponível em: <http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_schmoldt028.pdf>. Acesso em: 07 abr.2005.

SCHMOLDT, Daniel L.; PETERSON, David L.; SMITH, Robert L. **The Analytic Hierarchy Process and participatory decision-making**. Virginia: USDA Forest Service, 1995. Disponível em: <<http://www.srs4702.forprod.vt.edu/pubsubj/pdf/9501.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

SCHRECK, Franziska. **Multi-criteria decision aid as a tool in the management of produced water in the offshore oil industry**. Dissertação (Mestrado). Estocolmo: Royal Institute of Technology, 2002. Disponível em: <http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/LWR_EX_2002_14.PDF>. Acesso em: 13 dez. 2005.

SIEBER, Angela; UHLENBROOK, Stefan. Sensitivity analyses of a distributed catchment model to verify the model structure. **Journal of Hydrology**, n. 310, p. 216-235, 2005.

SHIAU, Yan-Chyuan; TSAI, Tsung-Pin; WANG, Wen-Chian; HUANG, Miao-Ling. **Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system**. China: Chung Hua University, 2002. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02143.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

SILVA, Luciano Menezes Cardoso da. Gestão sustentável de reservatórios. In: THEODORO, Suzi Huff (org.). **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. Rio de Janeiro: Garamond/CDS, 2001.

SIGEST – Sistema Integrado de Gestão do Uso Múltiplo das Águas. **O uso múltiplo das águas**. 2005. Disponível em:

<http://sigest.sigrh.sp.gov.br:8888/homesigest/01_agua/01_0_agua.htm>. Acesso em: 02 mar. 2005.

SMITH, Welber Senteio; ESPÍNDOLA, Evaldo L. Gaeta; PEREIRA, Camila C. G. Francisco; ROCHA, Odete. Impactos dos reservatórios do médio e baixo rio Tietê (SP) na composição das espécies de peixes e na atividade de pesca. In: **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos: RiMa, 2002.

SOARES, Sebastião Roberto. **Análise multicritério como instrumento de gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <www.ens.ufsc.br/~soares>. Acesso em: 13 nov. 2004.

SOUZA, Francisco Carlos Bragança de. **Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1999. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses99/souza/index.html>>. Acesso em: 06 nov. 2004.

SOUZA FILHO, Francisco de Assis. Aplicação de um sistema de suporte à decisão à alocação de água: SSD da COGERH-CE. In: **Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1999. CD-ROM.

SRDJEVIC, B.; MEDEIROS, Y.; SRDJEVIC, Z.; SCHAER, M. Evaluating Management Strategies in Paraguacu River Basin by Analytic Hierarchy Process. In: CUDDY, Susan M. (coord.). **Integrating Management and Decision Support**. Austrália: iEMSS, 2002. Disponível em: <http://www.iemss.org/iemss2002/proceedings/pdf/volume%20uno/132_srdjevic.pdf> Acesso em: 07 abr. 2005.

STEIGUER, J. E. de; DUBERSTEIN, Jennifer; LOPES, Vicente. **The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management**. Disponível em: <<http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

STIRLING, A. Multicriteria Mapping: mitigating the problems of environmental valuation? In: Foster, J. **Valuing Nature: economics, ethics and environment**, London: Routledge, 1997.

SUNDARRAJ, R. P. A Web-based AHP approach to standardize the process of managing service-contracts. **Decision Support Systems**, n. 37, p. 343– 365. 2004. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 07 nov. 2005.

SURESH, D. S.; BABU; NANDAKUMAR, V.; JOHN, B.; JAYAPRASAD, B. K.; PRARNOD, S. V. Siltation analysis in the Neyyar reservoir and forest degradation in its catchment: a study from Kerala state, India. **Environmental Geology**, n. 39, 2000.

TAYLOR III, Frank A.; KETCHAM Allen F.; HOFFMAN, Darwin. Personnel evaluation with AHP. **Management Decision**, v. 36, n. 10, p. 679-685, 1998.

THIRUMALAIVASAN, D.; KARMEGAM, M. Aquifer vulnerability assessment using Analytic Hierarchy Process and GIS for upper palar watershed. In: 22nd ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, 2001, Singapura. **Anais...** Disponível em: <<http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001/pdf/267THIRU.PDF>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

TECON – TÉCNICA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. **Estudo de impacto ambiental (EIA):** implantação do reservatório de acumulação, tomada d'água e adutoras do ribeirão João Leite. Goiânia: TECON – Técnica de Engenharia e Consultoria Ltda., 1994.

TIPEC – Tecnologias para Incremento da Performance e Eficiência Corporativa. Disponível em: <<http://www.decisionsystems.com.br/editor/mostrarpag.asp?id=48>>. Acesso em: 29 mar. 2005.

TOMA, Takeaki; ASHARIF, Mohammad Reza. **AHP coefficients optimization technique based on GA.** Japão: Department of Information Engineering of University of Ryukyus, 2003. Disponível em: <<http://bw-www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpaper2.html>>. Acesso em: 07 abr.2005.

TOPCU, Ilker. **Analysing the problem.** (Aula em PowerPoint). Disponível em: <www.ilkertopcu.net>. Acesso em: 06 nov. 2004.

THORNE, J. M.; SAVIC, D. A.; WESTON, A. Optimized conjunctive control rules for a system of water supply sources: Roadford reservoir system (U.K.). **Water Resources Management**, n. 17, 2003. pp. 183-196.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: UNESCO, 2001. Disponível em:

<<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129870por.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2006.

TUNDISI, José Galizia. Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos. In: ENCONTRO DE TROPICOLOGIA, n. 4, 1987, Recife. **Anais...** Recife: CNPq, 1990. pp. 47-85. Disponível em: <http://www.tropiologia.org.br/conferencia/1987ecologia_limnologia.html>. Acesso em: 28 fev. 05.

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS - UCG. **Encontrados 23 sítios arqueológicos no João Leite**. Goiânia: 2004. Disponível em: <<http://www.ucg.br/flash/Notanteriores/Marco04/040303igpa.html>>. Acesso em: 11 jul. 2005.

VAZ, Carlos; BACKES, Elizete Marley; HORA, Karla Emanuela. **Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio João Leite**. Goiânia: 2001. Disponível em: <<http://arca.org.br>>. Acesso em: 17 maio 2004.

VIEGAS FILHO, João Soares; LANNA, Antônio Eduardo Leão; MACHADO, Amauri de Almeida. A modelagem orientada a objetos aplicada a sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos. In: **Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1999. 1 CD.

ZAMPROGNO, Dejanyne de Paiva; PORTO, Rubem La Laina. O SIG como ferramenta de apoio na análise multicriterial feita para localização de reservatórios. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DADOS CURRICULARES

Nome	Cíntia de Lima Vilas Boas
------	----------------------------------

Formação Acadêmica/Titulação

2000 - 2001	Especialização em Gestão e Gerenciamento de Obras. Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, Brasil Título: Técnicas de controle de qualidade no gerenciamento de serviços da construção civil. Orientador: Dr. Ênio Antônio Pazini Figueiredo.
1991 - 1995	Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, Brasil Título: Projeto estrutural de um edifício residencial de 10 pavimentos-tipo. Orientador: Dra. Sylvania Regina Mesquita de Almeida.

Atuação Profissional

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM	
Vínculo	06/01/1997 – Atual.
Características	Aprovada em 2º lugar em concurso público; enquadramento funcional: engenheira hidróloga; regime: dedicação exclusiva.
Atividades	Supervisão da área de hidrologia; análise de consistência de dados pluviométricos e fluviométricos; atividades relacionadas à operação da rede hidrometeorológica nacional.

Produção bibliográfica

VILAS BOAS, C. L. de. Técnicas de controle de qualidade no gerenciamento de serviços da construção civil . Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Goiânia: EEC/UFG, 2001.
VILAS BOAS, C. L. de. O uso múltiplo de reservatórios. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD.
VILAS BOAS, C. L. de. Análise econômica do problema de deterioração ambiental decorrente da geração de energia elétrica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD.
VILAS BOAS, C. L. de. Análise da aplicação de métodos multicritérios de decisão na gestão de recursos hídricos . 2005. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/autores_simposio.htm >.
VILAS BOAS, C. L. de. Método Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) para as Decisões Relacionadas ao Uso Múltiplo de Reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP) . 2005. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/autores_simposio.htm >.
VILAS BOAS, C. L. de. Uso múltiplo de reservatórios . In: Seminário da Engenharia Comemorativo ao Dia Mundial da Água, 2006, Goiânia. (Apresentação em Power Point). Goiânia: Clube de Engenharia, 2006.
VILAS BOAS, C. L. de; CUNHA, M. A. C. da. Programa de Qualidade Aplicado na Análise de Dados Hidrológicos. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABRH, 1999. 1CD.

**APÊNDICE B – ARTIGO APRESENTADO ORALMENTE NO XVI SIMPÓSIO
BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS REALIZADO EM NOVEMBRO DE 2006
EM JOÃO PESSOA/PB E PUBLICADO INTEGRALMENTE NOS ANAIS DO
EVENTO**

VILAS BOAS, C. L. de. O uso múltiplo de reservatórios. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD.

O USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS

Cíntia de Lima Vilas Boas¹

RESUMO --- O presente trabalho aborda o uso múltiplo de recursos hídricos e, mais especificamente o uso múltiplo de reservatórios. São discutidos seus aspectos positivos e negativos e é apresentado um panorama do uso múltiplo de reservatórios no Brasil.

ABSTRACT --- This work presents an approach about multiple use of water resources and, more specifically, of the multiple use of reservoirs. It argues the positive and the negative aspects and presents the scene of the multiple uses of reservoirs in Brazil.

Palavras-chave: reservatórios, uso múltiplo.

¹ Mestranda em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela UnB/FACH e engenheira hidróloga da CPRM, Rua 148, nº 485, St. Marista, 74170-110, Goiânia. E-mail: cintia@go.cprm.gov.br.

APÊNDICE C – ARTIGO PUBLICADO NA INTERNET

VILAS BOAS, C. L. de. **Análise da aplicação de métodos multicritérios de decisão na gestão de recursos hídricos**. 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/Analise%20da%20Aplicacao%20de%20Metodos%20Multicriterios%20de%20Apoio%20a%20Decisao%20na%20Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2005.

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO (MMAD) NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Cíntia de Lima Vilas Boas¹

RESUMO --- Muitas situações de tomada de decisão relacionadas aos recursos hídricos, em um ambiente participativo, envolvem a seleção de alternativas, eventos ou cursos de ação. Porém, os agentes tomadores de decisão, geralmente, possuem pontos de vista conflitantes e diferentes juízos de valores. Os métodos multicritérios de análise de decisão aparecem como uma opção para que estas diversidades sejam integradas.

ABSTRACT --- Many situations of the decision making related to water resources involve the election of alternatives, events or courses of action. However, the decision makers have conflicting points of view and different judgment values. The multicriteria decision analysis methods appear as an option for integration of these diversities.

Palavras-chave: multicritérios, decisões, AHP.

¹ Mestranda em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela UnB/FACH e eng^a hidróloga da CPRM, Rua 148, nº 485, St. Marista, 74170-110, Goiânia. E-mail: cintia@go.cprm.gov.br.

APÊNDICE D - ARTIGO PUBLICADO NA INTERNET

VILAS BOAS, C. L. de. **Método Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) para as Decisões Relacionadas ao Uso Múltiplo de Reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP)**. 2005. Disponível em:
<[http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/METODO%20MULTICRITERIOS%20DE%20ANALISE%20DE%20DECISAO%20\(MMAD\)%20PARA%20AS%20DECISOES%20RELACIONADAS%20AO%20USO%20MULTIPLO%20.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/METODO%20MULTICRITERIOS%20DE%20ANALISE%20DE%20DECISAO%20(MMAD)%20PARA%20AS%20DECISOES%20RELACIONADAS%20AO%20USO%20MULTIPLO%20.pdf)>. Acesso em: 06 jan. 2005.

**MÉTODO MULTICRITÉRIOS DE ANÁLISE DE DECISÃO (MMAD)
PARA AS DECISÕES RELACIONADAS AO USO MÚLTIPLO DE
RESERVATÓRIOS: ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)**

Cíntia de Lima Vilas Boas¹

RESUMO --- Este trabalho baseia-se em um capítulo de dissertação de mestrado que está sendo desenvolvido no intuito de estudar a eficácia do emprego da Análise Multicritérios como instrumento de avaliação das potenciais alternativas de uso múltiplo de reservatórios. O artigo analisa a fundamentação teórica, as características, os procedimentos de aplicação, as vantagens e desvantagens do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

ABSTRACT --- This paper studies the use of multicriteria analysis to evaluate the potential alternatives of multiple uses of reservoirs. The article analyses the theoretical bedding, the characteristics, the procedures of application, the advantages and disadvantages of the *Analytic Hierarchy Process* (AHP) method.

Palavras-chave: multicritérios, decisões, AHP.

¹ Mestranda em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela UnB/FACH e engenheira hidróloga da CPRM, Rua 148, nº 485, St. Marista, 74170-110, Goiânia. E-mail: cintia@go.cprm.gov.br.

APÊNDICE E - QUESTIONÁRIOS ENVIADOS AO GRUPO DE DECISORES

Prezado membro do Comitê da Bacia do Rio Meia Ponte,

Pedimos a sua colaboração para o preenchimento de um questionário que visa coletar dados para uma pesquisa do curso de mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente/UnB. A dissertação tem como objetivo analisar a eficácia do emprego da Análise Multicritérios como instrumento de avaliação das potenciais alternativas de uso múltiplo de reservatórios. Para consecução deste intento, será realizado um estudo de caso em que será desenvolvido um modelo de análise de decisão para o uso múltiplo de reservatórios, com a utilização do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A proposta de uso múltiplo de reservatórios é aumentar a eficiência da utilização dos recursos hídricos. A principal intenção é que os benefícios relativos ao uso de um reservatório para múltiplos propósitos superem os diversos e profundos impactos negativos causados sobre seu ambiente referencial pela construção e operação de vários reservatórios isolados destinados a usos singulares.

Estas questões estão inseridas em contextos decisórios que envolvem vários atores com diferentes percepções, valores, objetivos e relações de poder, dando origem a processos de decisão complexos, marcados pelos conflitos de interesses. Surge, portanto, a necessidade da aplicação de abordagens flexíveis, que permitam a agregação de variáveis intangíveis monetariamente, a consulta às populações afetadas e levem em consideração a subjetividade dos atores envolvidos.

O estudo de caso terá como cenário a barragem do ribeirão João Leite e os membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (COBAMP) serão os atores envolvidos no processo de decisão. O COBAMP foi escolhido em virtude das suas atribuições, devido à ampla representatividade de seus integrantes e por possuir *experts* em recursos hídricos.

Como no caso em estudo a barragem já está sendo construída com a finalidade única de abastecimento, a decisão consiste na escolha de quais

modalidades de uso de reservatórios são adequadas e compatíveis com o abastecimento de água potável. Este procedimento envolve a definição de um conjunto de critérios (medidas de desempenho para julgamento das alternativas) e a avaliação das alternativas através do preenchimento do questionário que segue em anexo. O questionário pode ser enviado para o endereço eletrônico: cintia@go.cprm.gov.br. Em caso de dúvidas e sugestões, por favor, entrar em contato pelo telefone 3281-1522.

Desde já, agradeço pela valiosa colaboração.

Cíntia de Lima Vilas Boas

Engenheira Hidróloga / CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Mestranda do curso de Gestão Econômica do Meio Ambiente /
UnB - Universidade de Brasília.

QUESTIONÁRIO PARA O GRUPO DE INTERESSE

1. Quais dos critérios abaixo você acha importante considerar no processo de decisão das alternativas de uso múltiplo de reservatórios? Por favor, adicione os critérios que você julgar que estão faltando para refletir a sua decisão.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	SIM	NÃO
Custo global	Custo de instalação + Custo de operação + Custo de Manutenção		
Benefícios	Tangíveis e intangíveis		
Aceitação	Receptividade do projeto pelos atores envolvidos		
Operacionalidade	Aspectos de engenharia		
Repercussões políticas	Ganhos políticos proporcionados		
Qualidade da água	Risco de comprometimento da qualidade da água do reservatório que é destinada a abastecimento		

As avaliações serão executadas aos pares, de acordo com uma escala de valores de 1 a 9 e seus recíprocos:

ESCALA VERBAL AHP	ESCALA NUMÉRICA AHP
Absolutamente melhor	9
Criticamente melhor	8
Muito fortemente melhor	7
Fortemente melhor	6
Definitivamente melhor	5
Moderadamente melhor	4
Fracamente melhor	3
Pobremente melhor	2
Igual	1
Pobremente pior	1/2
Fracamente pior	1/3
Moderadamente pior	1/4
Definitivamente pior	1/5
Fortemente pior	1/6
Muito fortemente pior	1/7
Criticamente pior	1/8
Absolutamente pior	1/9

EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE USO MÚLTIPLO DE RESERVATÓRIOS

Como exemplo da avaliação que deve ser realizada, apresentamos o quadro abaixo. Trata-se da avaliação de uma modalidade de uso de reservatório em relação a outras alternativas, considerando os critérios indicados no quadro.

Note que a avaliação é realizada da seguinte forma:

- Considerando o critério **Custo Global**, o uso do reservatório para a atividade de **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** teve uma avaliação “1/5” em relação à **Irrigação**, “1” em relação à **geração de energia**, “1/9” em relação à **recreação**, e assim por diante. Isto quer dizer que, em relação ao **Custo Global**, a **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “definitivamente pior” do que **Irrigação**, **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “igual” a **Geração de energia elétrica**, **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “absolutamente pior” do que **Recreação**.

- Considerando o critério **Repercussões Políticas**, o uso do reservatório para a atividade de **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** teve uma avaliação “7” em relação à **Irrigação**, “1” em relação à **geração de energia**, “6” em relação à **recreação** e “8” em relação à **aqüicultura**. Isto quer dizer que, em relação ao critério **Repercussões Políticas**, a **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “muito fortemente melhor” do que **Irrigação**, **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “igual” a **Geração de energia elétrica**, **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “fortemente melhor” do que **recreação** **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “criticamente melhor” do que **aqüicultura**.

***Importante:** Sempre que forem avaliadas alternativas de uso iguais (no caso do exemplo, **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** e **geração de energia elétrica**), a avaliação terá peso “1”, ou seja, em relação a qualquer critério, o uso do reservatório para a atividade de **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** é “igual” a **geração de energia elétrica**.

ALTERNATIVAS	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA							
	CRITÉRIOS							
	Custo Global	Benefícios	Aceitação	Operacionalidade	Repercussões Políticas	Qualidade da Água		
Irrigação	1/5	8	6	5	7	9		
Geração de energia elétrica	1	1	1	1	1	1		
Recreação / Lazer	1/9	8	8	1/2	6	9		
Aqüicultura	1/7	4	1/3	3	8	9		

APÊNDICE F – PESOS DOS CRITÉRIOS AVALIAÇÃO

Quadro 1E – Pesos relativos à comparação dos pares de critérios de avaliação

CRITÉRIO 1	PESOS NAS ESCALAS AHP		CRITÉRIO 2
	Verbal	Numérica	
Benefícios	é definitivamente melhor que	5	Aceitação
Custo global	é muito fortemente melhor que	7	Benefícios
Custo global	é fortemente melhor que	6	Aceitação
Custo global	é igual a	1	Qualidade da água
Operacionalidade	é pobremente melhor que	2	Custo global
Operacionalidade	é fortemente melhor que	6	Benefícios
Operacionalidade	é muito fortemente melhor que	7	Aceitação
Operacionalidade	é igual a	1	Qualidade da água
Qualidade da água	é absolutamente melhor que	9	Benefícios
Qualidade da água	é absolutamente melhor que	9	Aceitação
Repercussões políticas	é fortemente melhor que	6	Custo global
Repercussões políticas	é criticamente melhor que	8	Benefícios
Repercussões políticas	é criticamente melhor que	8	Aceitação
Repercussões políticas	é pobremente melhor que	2	Operacionalidade
Repercussões políticas	é pobremente melhor que	2	Qualidade da água

Fonte: Elaboração da autora com base nos resultados obtidos em entrevista com o membro do COBAMP.

ANEXOS

ANEXO A - APROVEITAMENTO DA ÁGUA NO BRASIL E EM PAÍSES DESENVOLVIDOS

Quadro 1 A – Evolução histórica do aproveitamento da água no Brasil e em países desenvolvidos.

Período	Brasil	Países desenvolvidos
1945 a 1960	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inventário dos recursos hídricos; ✓ Início dos projetos de empreendimentos hidrelétricos e projetos de grandes sistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso dos recursos hídricos; ✓ Qualidade da água dos rios; ✓ Medidas estruturais de controle das enchentes.
1960 a 1970	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Início da construção de grandes empreendimentos hidrelétricos; ✓ <input type="checkbox"/> Deterioração da qualidade da água. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Controle de efluentes; ✓ <input type="checkbox"/> Medidas não estruturais para enchentes ✓ <input type="checkbox"/> Legislação para qualidade da água de rios.
1970 a 1980	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Ênfase em hidrelétricas e abastecimento de água; ✓ <input type="checkbox"/> Início da pressão ambiental; ✓ <input type="checkbox"/> Deterioração da qualidade da água dos rios (aumento da produção industrial e concentração urbana). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Usos múltiplos; ✓ <input type="checkbox"/> Contaminação de aquíferos; ✓ <input type="checkbox"/> Deterioração ambiental de grandes áreas metropolitanas; ✓ <input type="checkbox"/> Legislação ambiental.
1980 a 1990	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Redução do investimento em hidrelétricas devido à crise fiscal e econômica; ✓ <input type="checkbox"/> Piora das condições urbanas;; ✓ <input type="checkbox"/> Fortes impactos das secas do Nordeste; ✓ <input type="checkbox"/> Aumento de investimentos em irrigação; ✓ <input type="checkbox"/> Legislação ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Impactos Climáticos Globais; ✓ <input type="checkbox"/> Preocupação com conservação das florestas; ✓ <input type="checkbox"/> Prevenção de desastres; ✓ <input type="checkbox"/> Fontes pontuais e não pontuais; ✓ <input type="checkbox"/> Controle dos impactos da urbanização sobre o ambiente; ✓ <input type="checkbox"/> Contaminação de aquíferos.
1990 a 2000	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Legislação de recursos hídricos; ✓ <input type="checkbox"/> Investimento no controle sanitário das cidades; ✓ Aumento do impacto das enchentes urbanas; ✓ <input type="checkbox"/> Programas de conservação dos biomas nacionais; ✓ <input type="checkbox"/> Privatização dos serviços de energia e saneamento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Desenvolvimento sustentável; ✓ <input type="checkbox"/> Controle ambiental das grandes metrópoles; ✓ <input type="checkbox"/> Pressão para controle da emissão de gases, ✓ Preservação da camada de ozônio; ✓ <input type="checkbox"/> Controle da contaminação dos aquíferos.
2000...	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Progresso dos aspectos institucionais da água; ✓ <input type="checkbox"/> Privatização do setor energético; ✓ <input type="checkbox"/> Aumento de usinas térmicas; ✓ <input type="checkbox"/> Privatização do setor de saneamento; ✓ <input type="checkbox"/> Aumento da disponibilidade de água no Nordeste; ✓ <input type="checkbox"/> Planos de drenagem urbana 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input type="checkbox"/> Desenvolvimento da visão mundial da água; ✓ <input type="checkbox"/> Uso integrado dos recursos hídricos; ✓ <input type="checkbox"/> Melhora da qualidade da água das fontes não pontuais; ✓ <input type="checkbox"/> Busca de solução para os conflitos transfronteiriços; ✓ <input type="checkbox"/> Desenvolvimento do gerenciamento dos recursos hídricos em de bases sustentáveis.

	para as cidades.	
--	------------------	--

Fonte: Adaptado de Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto (2001).

**ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM
DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

Quadro 1B – Características da barragem do ribeirão João Leite e de sua área de influência

ASPECTOS GERAIS	
Área inundada	11 km ² (equivalente a 1.040 ha)
População beneficiada	Em 2005: 1.659.207 habitantes Em 2025: 2.300.545 habitantes
Tipo de barragem	Concreto compactado com rolo (CCR)
Vertedor	Livre na parte central
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Vazões regularizadas	Vazão média para abastecimento: 5,33 m ³ /s; Vazão de diluição (até 2010): 3,00 m ³ /s; Descarga mínima (a partir de 2010): 0,90 m ³ /s Vazão total: 6,23 m ³ /s
Volume do reservatório de acumulação	Total: 129.000.000 m ³ ; Útil: 117.000.000 m ³ ; Morto: 12.000.000 m ³
Enchente de projeto	1.236 m ³ /s;
Comprimento da crista da barragem	Concreto Compactado com Rolo: 389 m Ombreiras direita e esquerda (solo): 62 m Total: 451 m
Largura do vertedor	50 m
Vazão efluente correspondente à enchente de projeto	461 m ³ /s
Tomadas d'água	3 comportas para abastecimento e 1 para descarga de fundo
Principais volumes (estimados)	Escavação: 510.000 m ³ ; Concreto compactado com rolo (CCR): 268.000 m ³ Concreto convencional: 77.000 m ³ ; Mação compactado e reaterro: 275.000 m ³
Adutora de água bruta	Uma única linha por gravidade, iniciando-se numa tomada d'água na barragem do ribeirão João Leite e chegando até a Estação de Tratamento de Água localizada no setor Negrão de Lima, em Goiânia.

Fonte: SANEAGO (2005).

ANEXO C - FOTOS DE VÁRIAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE



Figura 1C - Escavação (novembro/2002).
Fonte: SANEAGO (2005).



Figura 2C - Desvio do leito do rio (agosto/2003).
Fonte: SANEAGO (2005).



Figura 3C - Ribeirão João Leite em seu leito natural e a construção do desvio.



Figura 4C - Término do desvio e curso normal pronto para ser bloqueado.



Figura 5C - Liberação da passagem das águas do ribeirão João Leite pelo desvio.
Fonte: SANEAGO (2005).



Figura 6C - Desvio do leito do rio (agosto/2003).
Fonte: SANEAGO (2005).

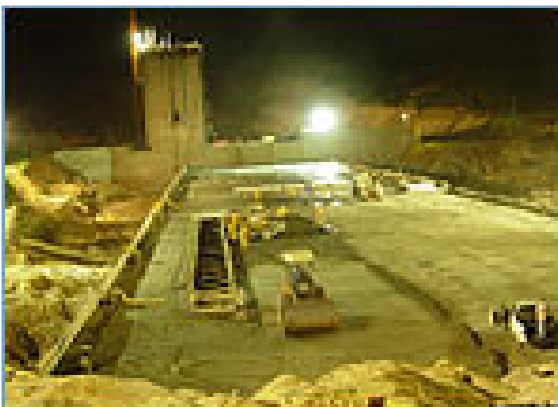


Figura 7C - Vista noturna da ombreira direita (março/2004).
Fonte: SANEAGO (2005).



Figura 8C - Vista geral de jusante (maio/2004).
Fonte: SANEAGO (2005).

ANEXO D - SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS ENCONTRADOS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BARRAGEM DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE

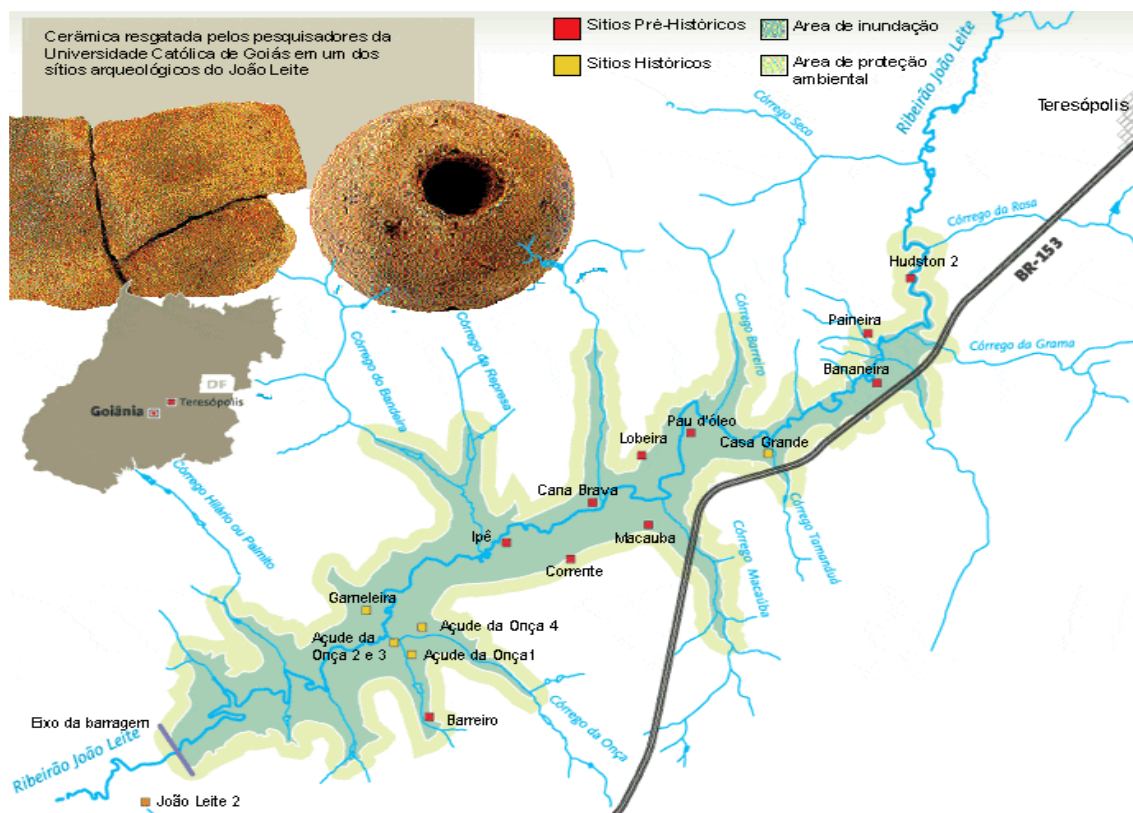


Figura 9C – Sítios arqueológicos encontrados na área de influência da barragem do ribeirão João Leite.

Fonte: UCG (2004).



Figura 10C – Escavações nos sítios arqueológicos.

Fonte: UCG (2005).



Figura 11C – Louças encontradas nos sítios arqueológicos.

Fonte: UCG (2005).

**ANEXO E – PROCESSAMENTO DE DADOS NO
PROGRAMA *CRITERIUM DECISION PLUS***



Figura 1E – Tela de abertura do software *Criterium Decision Plus* 3.0.
Fonte: *Criterium Decision Plus*.

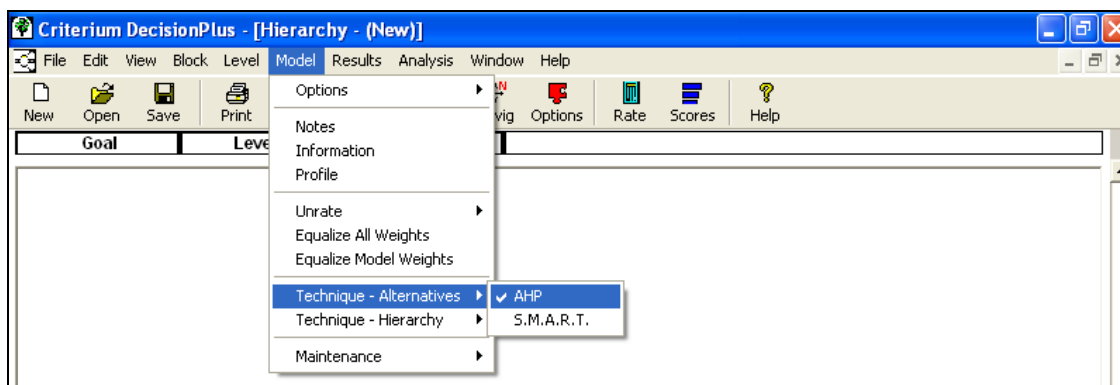


Figura 2E – Escolha do método
Fonte: *Criterium Decision Plus*.

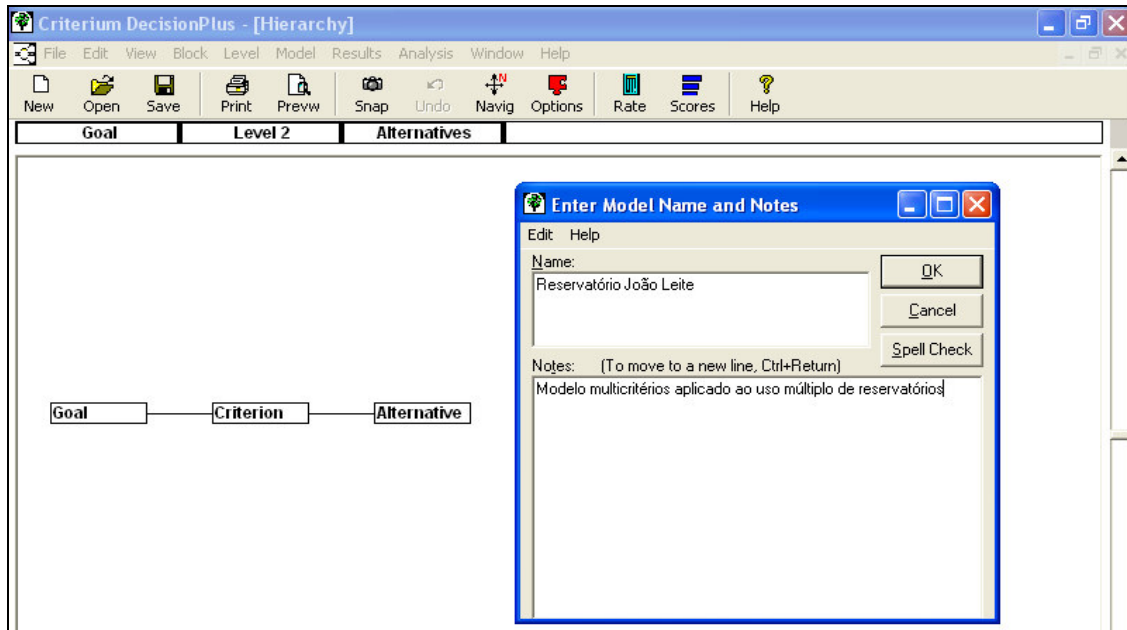


Figura 3E – Entrada de dados.
Fonte: *Criterium Decision Plus*.

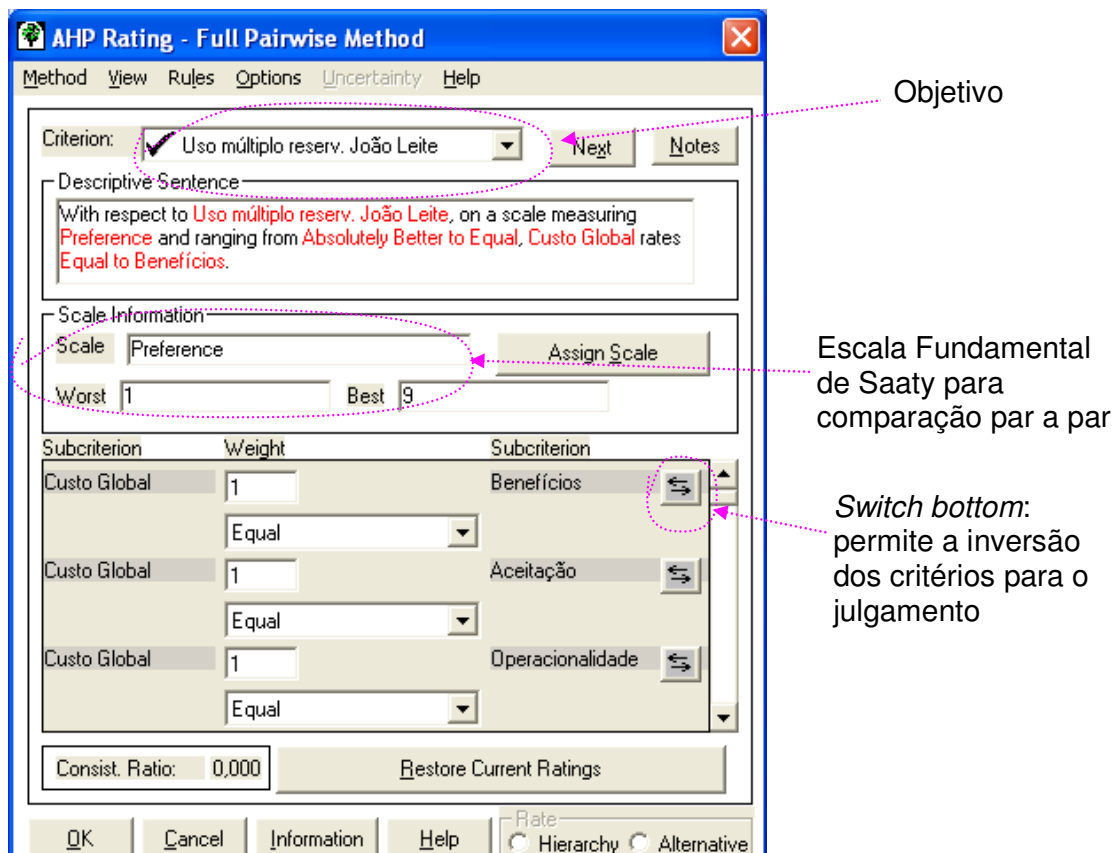


Figura 4E – Determinação dos pesos relativos dos critérios.
Fonte: *Criterium Decision Plus*.

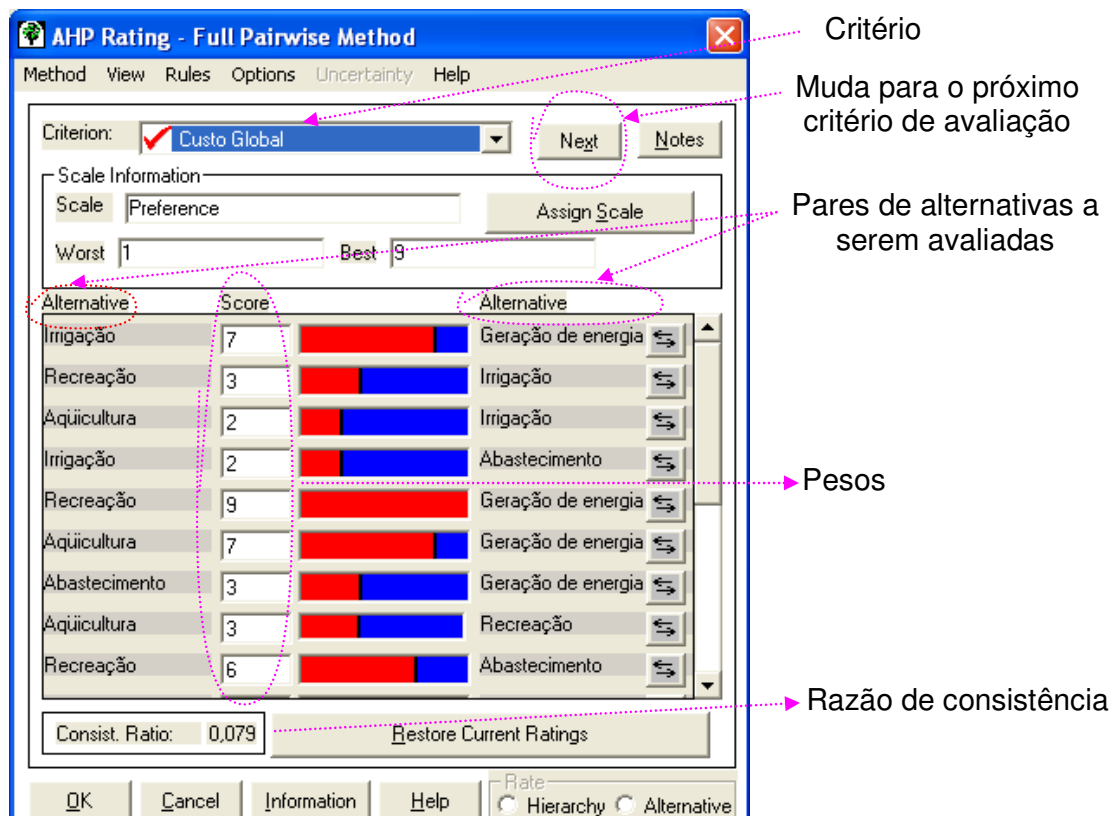


Figura 5E – Determinação dos pesos relativos das alternativas.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.

ANEXO F – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO.

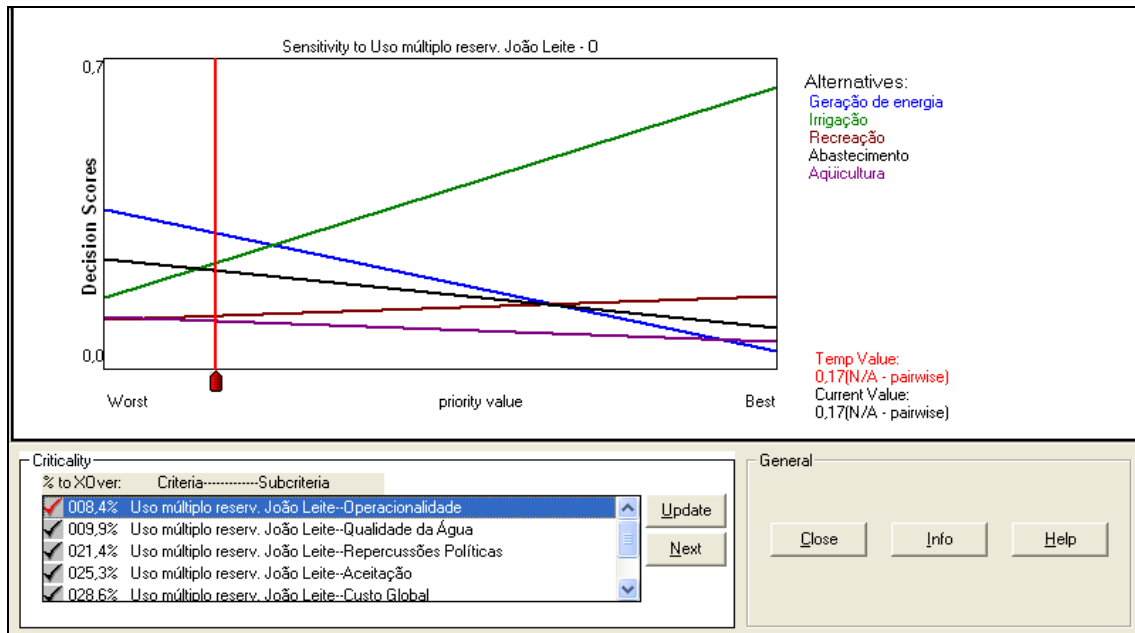


Figura 1F – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “operacionalidade”.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.

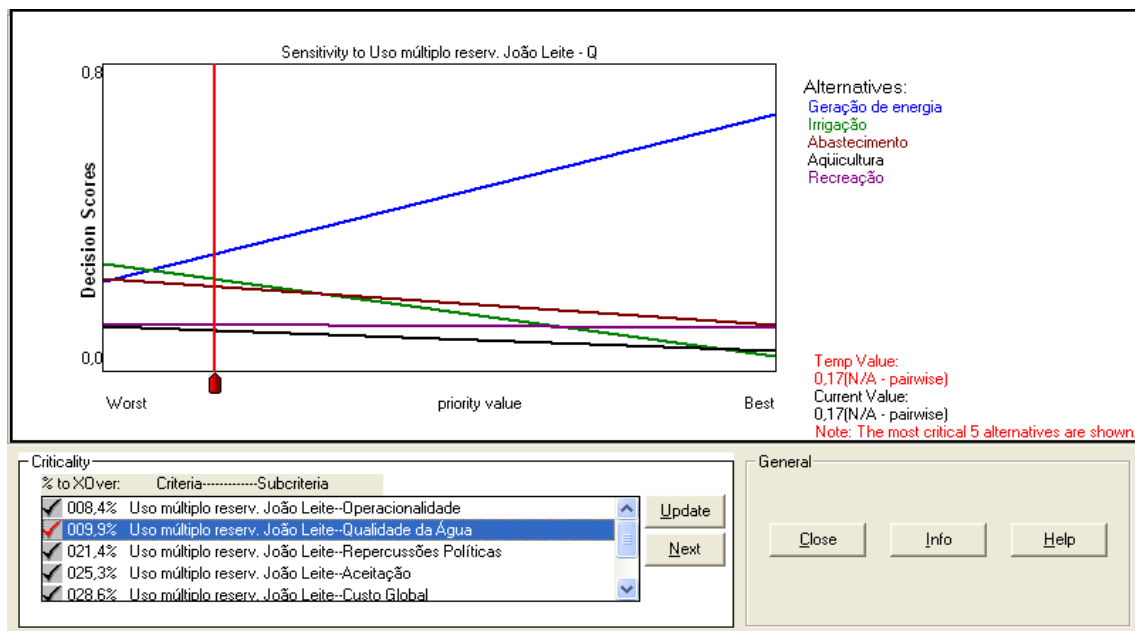


Figura 2F – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “qualidade da água”.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.

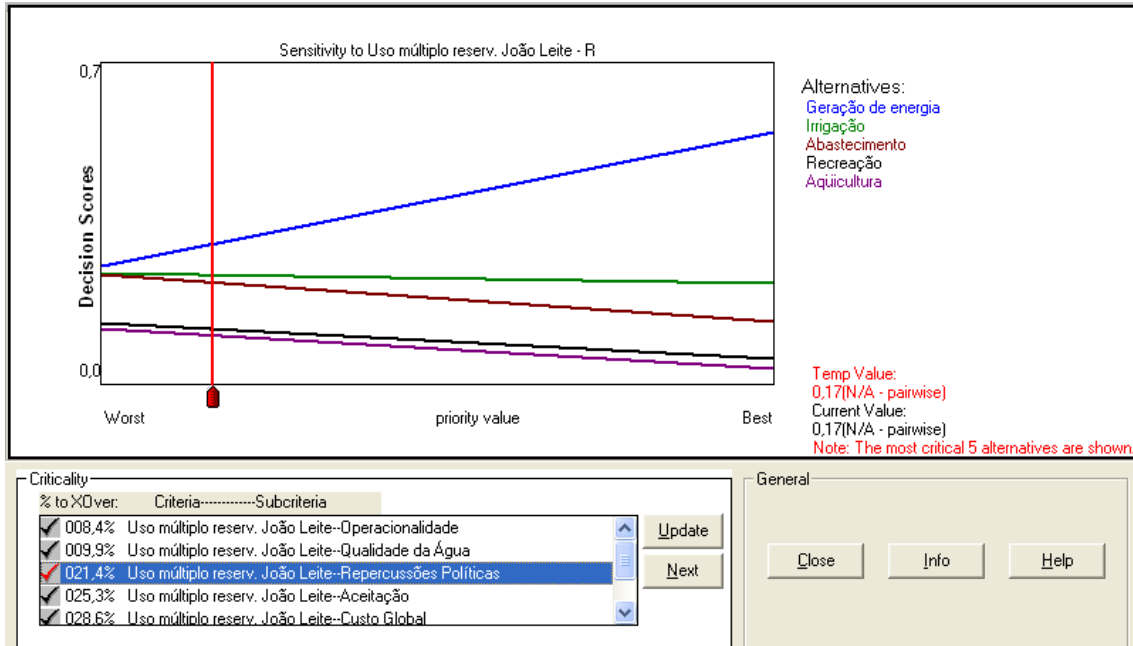


Figura 3F – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “qualidade da água”.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.

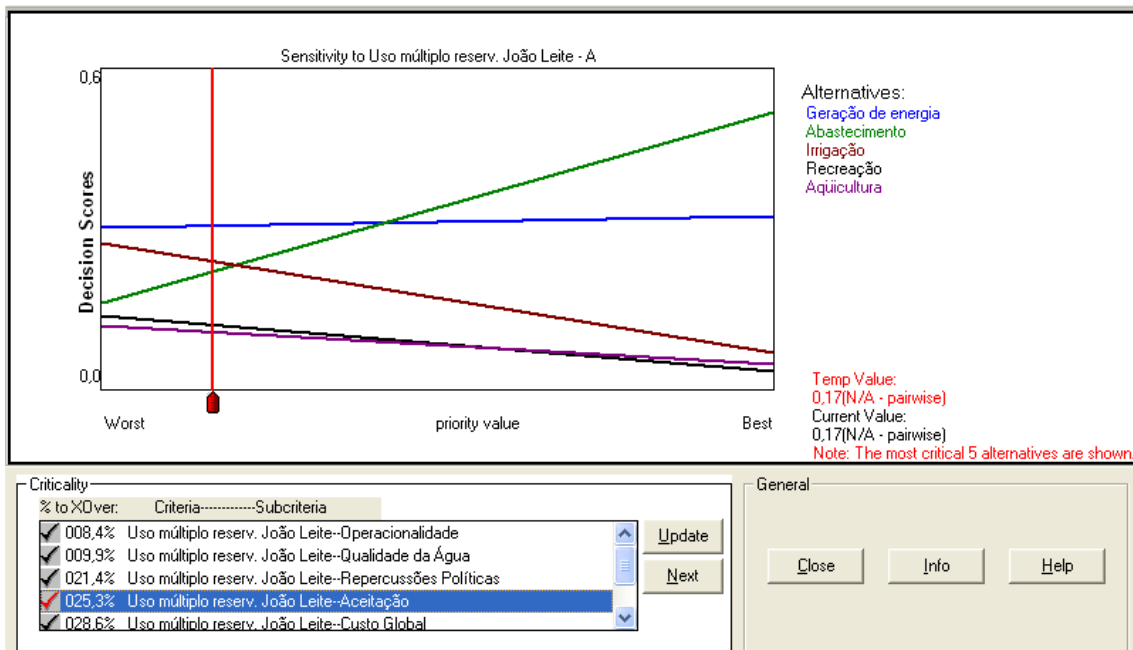


Figura 4F – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “qualidade da água”.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.

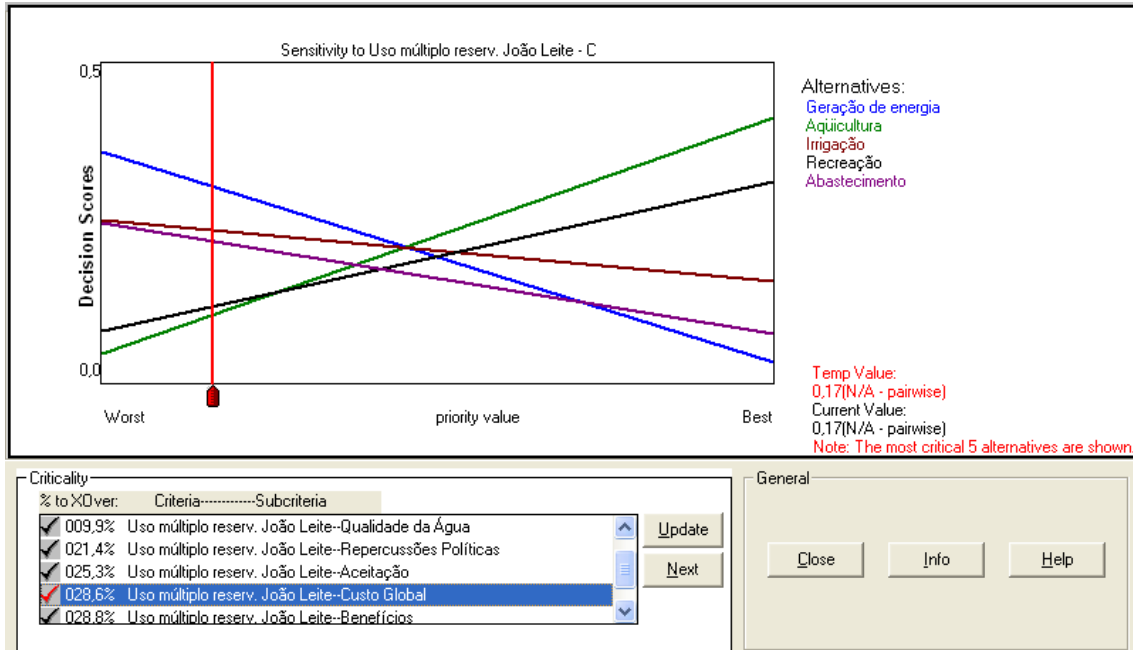


Figura 5F – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “qualidade da água”.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.

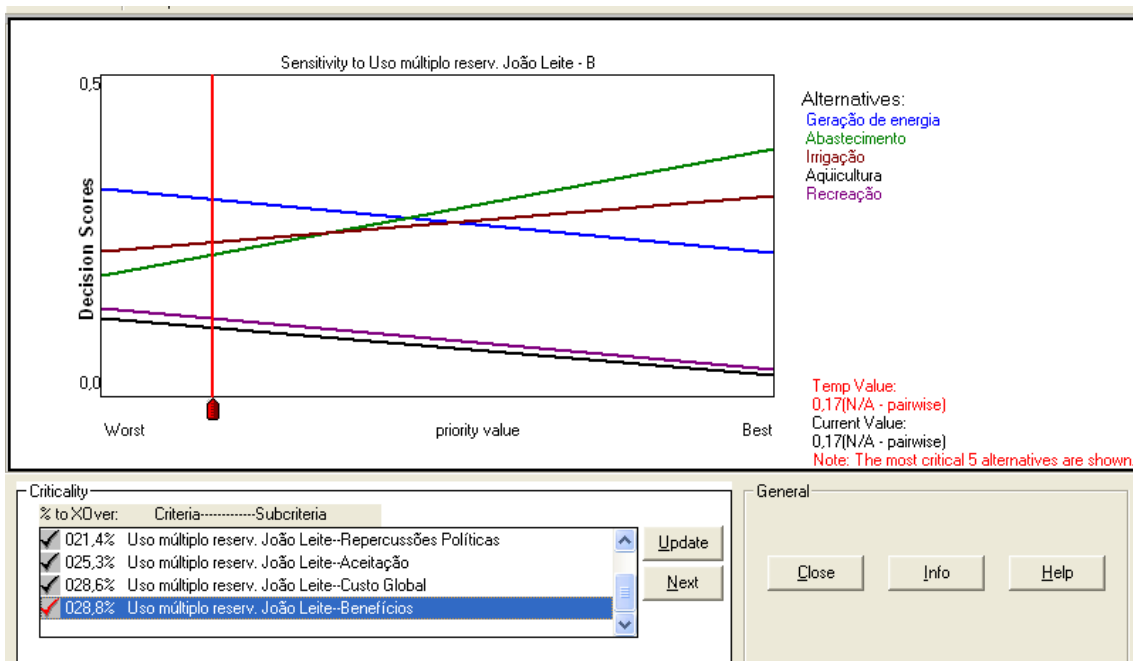


Figura 6F – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “qualidade da água”.
 Fonte: *Criterion Decision Plus*.