

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MODELO DE DECISÃO EM GRUPO PARA O APOIO AO  
PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA CAPACIDADE DE  
SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
POR

ANNIELLI ARAÚJO RANGEL CUNHA  
Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Danielle Costa de Moraes

RECIFE, OUTUBRO / 2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA  
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO ACADÊMICO DE

ANNIELLI ARAÚJO RANGEL CUNHA

**“MODELO DE DECISÃO EM GRUPO PARA O APOIO AO  
PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA CAPACIDADE DE SISTEMAS  
PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a)  
primeiro(a), considera a candidata ANNIELLI ARAÚJO RANGEL CUNHA  
**APROVADA.**

*Recife, 09 de novembro de 2011.*

\_\_\_\_\_  
Prof. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)

\_\_\_\_\_  
Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

\_\_\_\_\_  
Prof. MARIÁ FERNANDA FREIRE GATTO PADILHA, Doutor (UFPE)

Catálogo na fonte

Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

C972m Cunha, Annielli Araújo Rangel.

Modelo de decisão em grupo para o apoio ao planejamento da expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento / Annielli Araújo Rangel Cunha. - Recife: O Autor, 2011.

xiii, 95 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Danielle Costa de Moraes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2011.

Á Marilene Rangel, minha mãe, por ser a prova de que não existe sonho que não se possa tornar realidade, sempre meu exemplo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por todas as oportunidades, capacidades e pela força em aceitar enfrentar esse desafio, vencer cada obstáculo e finalmente chegar ao final pretendido, onde as provas, dificuldades, empecilhos e desânimo não são raros.

Agradeço a minha família, por, mesmo distante, se fazerem presentes em todos os momentos que precisei, em especial à Marilene Rangel, minha mãe, por sempre apoiar os meus planos, me dar todo o suporte, incentivo e amor necessário para me tornar quem sou.

Minha gratidão também à minha orientadora, Danielle Moraes, pela atenção conferida, por sua presteza, sabedoria, incentivo e orientações apropriadas. Por se tornar um exemplo de profissionalismo e competência a ser seguido nos caminhos vindouros.

Agradeço também aos meus colegas de mestrado, em especial àqueles do meu grupo de estudo, com quem pude compartilhar, além de conhecimento, momentos de descontração e alegria, e que certamente tornaram o caminho mais agradável.

Meus agradecimentos aos meus amigos! Por compreenderem minhas ausências e estarem sempre de braços abertos, quando preciso. Em especial à família Siqueira de Holanda, por me “adotar” e estarem sempre disponíveis a me ajudar. Agradecimento especial também, à Richel Patriota, com quem tenho compartilhado sonhos e realizações.

Ao PPGEF, em especial aos professores que compartilharam seus conhecimentos e a secretaria do curso, sempre solícitos em resolver todos os pedidos.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Aos funcionários do COMPESA que colaboram com informações.

E a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, na execução e conclusão desse trabalho.

*"A única maneira de evitar a crítica é não dizer nada, não fazer nada e não ser ninguém".*

Winston Churchill

## RESUMO

A expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento se faz necessário em um contexto de demanda por água ampliada devido a fatores, tais como urbanização, crescimento populacional e industrialização. O planejamento de ações dessa natureza requer uma participação de diversos interessados, que podem divergir de interesses, objetivos, prioridades, responsabilidades e pontos de vista. Diante disso, para que o processo de planejamento da expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento ocorra de maneira a contemplar as expectativas e interesses e, portanto confira um processo de decisão em grupo transparente, onde o desejo da maioria possa ser representado, faz-se necessário a utilização de metodologias de apoio à decisão. Sendo assim, esse trabalho apresenta um modelo de apoio à decisão em grupo que inclui em sua estrutura a participação dos principais interessados e é composto por quatro etapas: 1) a estruturação do problema, 2) ordenação das preferências individuais enriquecida com a introdução de cartões brancos, adaptada do Procedimento de Simos, que expressam o intervalo entre as alternativas e adicionam a ideia de cardinalidade a esse *ranking*, 3) a agregação das preferências do grupo, obtida pela aplicação do Método de Copeland e o posicionamento das alternativas agregadas em um *ranking*, e por fim 4) a análise de satisfação dos decisores pela distância da ordenação individual e a ordenação do grupo. O modelo desenvolvido foi aplicado em um problema fictício e possibilitou a verificação da aplicabilidade do método e o enriquecimento da análise e discussão do resultado final no processo de planejamento da expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento.

*Palavras-chave: Decisão em Grupo, Sistema de Abastecimento de Água, Ordenação de alternativas.*

## ABSTRACT

The expansion of capacity in public supply systems is necessary in a context of increased demand for water because of factors such as urbanization, population growth and industrialization. Action planning of this nature requires a participation of various stakeholders, which may differ from interests, goals, priorities, responsibilities and viewpoints. Therefore, for the planning process of expanding the capacity of public supply systems occur in a manner that contemplate the expectations and interests, so check a group decision process transparent, where the desire of the majority can be represented, it if necessary the use of decision support methodologies. Thus, this paper presents a model of group decision support, which includes

in its structure the participation of key stakeholders and consists of four steps: 1) structuring the problem, 2) ordering of individual preferences enriched with the introduction of cards white, adapted from Simos' procedure, which express the gap between the alternatives and add the idea of cardinality to this ranking, 3) aggregation of the preferences of the group, obtained by applying the method of Copeland and the positioning of the alternatives in an aggregate ranking and finally 4) the analysis of satisfaction of the decision makers across the distance of individual sorting and ordering of the group. The model was applied to an illusory problem and made possible the verify the applicability of the method and the enrichment of the analysis and discussion of the final result in the planning process of expanding the capacity of public supply systems.

*Key-words: Group Decision, Water Supply System, Alternative Ordering*



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Problema .....	1
1.2	Justificativa .....	5
1.3	Objetivos .....	6
1.4	Metodologia .....	6
1.5	Estrutura da Dissertação .....	7
2	BASE CONCEITUAL .....	9
2.1	Apoio à Decisão .....	9
2.1.1	Decisão Multicritério.....	14
2.2	Decisão em Grupo .....	17
2.3	Estruturação do Problema.....	21
2.3.1	Métodos de Estruturação de Problemas .....	21
2.4	Preferências Individuais.....	23
2.4.1	Estrutura de Preferências.....	24
2.5	Agregação de Preferências.....	26
2.5.1	Métodos de Agregação.....	27
2.5.2	Teorema de Arrow .....	30
2.5.3	Método de Copeland .....	31
2.5.4	O procedimento de Simos .....	32
3	PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA CAPACIDADE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	36
3.1	Abastecimento de Água .....	36
3.2	Planejamento em gestão de recursos hídricos.....	38
3.3	Sistemas Públicos de Abastecimento.....	39
3.4	Expansão da Capacidade .....	40
3.5	Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos.....	46
4	MODELO PARA DECISÃO EM GRUPO .....	49
4.1	Estruturação do Problema.....	52
4.2	Método de ordenação de preferências individuais.....	54
4.3	Método de Agregação das Preferências do Grupo.....	56
4.4	Análise de Satisfação .....	58

5	APLICAÇÃO DO MÉTODO .....	60
5.1	Estruturação do Problema .....	60
5.2	Ordenação das Preferências Individuais .....	64
5.3	Agregação das Preferências do Grupo .....	66
5.4	Análise de sensibilidade .....	74
5.5	Análise de satisfação .....	82
5.6	Discussão dos Resultados .....	86
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	87
6.1	Conclusões .....	87
6.2	Recomendações para trabalhos futuros .....	89
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Agregação das preferências individuais. ....	20
Figura 4.1 - Representação do Modelo Proposto. ....	51
Figura 5.1 - Ordenação das Preferências dos Decisores .....	65
Figura 5.2 - Ordenação e Posição das alternativas no Ranking .....	66
Figura 5.3 - Ordenação das Alternativas, por critério, pela posição média no <i>ranking</i> ..	72
Figura 5.4- Ordenação final das alternativas, ordenada por critério .....	73
Figura 5.5 - Ordenação das alternativas no <i>ranking</i> para os decisores .....	80
Figura 5.6 - Ordenação das alternativas, agregando por decisor .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Diagnóstico das disponibilidades hídricas e da capacidade do sistema produtor em face das demandas previstas. ....	3
Tabela 1.2 - Planejamento e Investimento para o aproveitamento de novos mananciais e adequações de sistemas de produção de água .....	4
Tabela 2.1 - Relações Básicas de Preferência .....	25
Tabela 2.2 - Relações consolidadas e situações de modelagem de preferências .....	26
Tabela 4.1 - Exemplo de Representação do <i>Ranking</i> Utilizando Cartões Brancos .....	56
Tabela 5.1 - Representação dos Decisores .....	61
Tabela 5.2 - Descrição das Alternativas .....	63
Tabela 5.3 - Designação do conjunto de Critérios .....	64
Tabela 5.4 - Posição das Alternativas no <i>Ranking</i> para cada decisor, por critério .....	66
Tabela 5.5 - Posição das Alternativas no <i>Ranking</i> para o critério C1 .....	67
Tabela 5.6 - Contagem de Votos para o critério C1 .....	67
Tabela 5.7 - <i>Scores</i> de Copeland para C1 .....	67
Tabela 5.8 - Posição das Alternativas no <i>Ranking</i> para o critério C2 .....	68
Tabela 5.9 - Contagem de Votos para o critério C2 .....	68
Tabela 5.10 - <i>Score</i> de Copeland para o critério C2 .....	68
Tabela 5.11 - Posição das Alternativas no <i>Ranking</i> para o critério C3 .....	69
Tabela 5.12 - Contagem de Votos para o critério C3 .....	69
Tabela 5.13 - <i>Score</i> de Copeland pra C3 .....	69
Tabela 5.14 - Ordenação das Alternativas, por critério, pelo Método de Copeland .....	69
Tabela 5.15 - Contagem de votos para as alternativas .....	70
Tabela 5.16 - <i>Score</i> de Copelan pra ordenação final .....	70
Tabela 5.17 - Posição das alternativas no <i>ranking</i> para C1 .....	71
Tabela 5.18 - Posição das alternativas no <i>ranking</i> para C2 .....	71
Tabela 5.19 - Posição das alternativas no <i>ranking</i> para C3 .....	72
Tabela 5.20 - Posição das Alternativas no ranking final .....	73
Tabela 5.21 - Posição das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM1 .....	74
Tabela 5.22 - Contagem de Votos para o decisor DM1 .....	74
Tabela 5.23 - <i>Score</i> de Copeland para o decisor DM1 .....	74

Tabela 5.24 - Posição média das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM1 .....	75
Tabela 5.25 - Posição das alternativas no <i>Ranking</i> para o decisor DM2 .....	75
Tabela 5.26 - Contagem de votos para o decisor DM2.....	75
Tabela 5.27 - <i>Score</i> de Copeland para o decisor DM2 .....	76
Tabela 5.28 - Posição média das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM2 .....	76
Tabela 5.29 - Posição das alternativas no <i>Ranking</i> , para o decisor DM3 .....	76
Tabela 5.30 - Contagem de votos, para o decisor DM3.....	76
Tabela 5.31 - <i>Score</i> de Copeland para o decisor DM3 .....	77
Tabela 5.32 - Posição das alternativas para o decisor DM3 .....	77
Tabela 5.33 - Posição das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM4.....	77
Tabela 5.34 - Contagem de votos para o decisor DM4.....	78
Tabela 5.35 - <i>Score</i> de Copeland para o decisor DM4 .....	78
Tabela 5.36 - Posição média das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM4 .....	78
Tabela 5.37 - Posição das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM5 .....	79
Tabela 5.38 - Contagem de votos para o decisor DM5.....	79
Tabela 5.39 - <i>Score</i> de Copeland para o decisor DM5 .....	79
Tabela 5.40 - Posição média das alternativas no <i>ranking</i> para o decisor DM5 .....	79
Tabela 5.41 - Contagem de votos para agregação dos votos por decisores .....	80
Tabela 5.42 - <i>Score</i> de Copeland para agregação do grupo .....	81
Tabela 5.43 - Posição média das alternativas para o grupo .....	81
Tabela 5.44 - Índice de Satisfação do decisor DM1 .....	83
Tabela 5.45 - Índice de Satisfação do decisor DM2 .....	83
Tabela 5.46 - Índice de Satisfação do decisor DM3 .....	84
Tabela 5.47 - Índice de Satisfação do decisor DM4 .....	84
Tabela 5.48 - Índice de Satisfação do decisor DM5 .....	85
Tabela 5.49 - Índices de satisfação dos decisores .....	85

## SIMBOLOGIA

ANA - Agência Nacional de Águas .....	2
SSM - Metodologia de Sistemas Soft.....	22
VFT - Pensamento Focado no Valor .....	22
SAA – Sistema de Abastecimento de Água .....	40

# 1 INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação com a gestão dos recursos hídricos por tratar-se de um bem de importância vital e por sua escassez em muitas localidades. Para isso o Planejamento na Gestão de Recursos Hídricos se apresenta como um importante passo para que as demandas por água sejam atendidas na quantidade e qualidade necessárias para a subsistência humana e manutenção dos ecossistemas.

Expandir a capacidade dos sistemas públicos de abastecimento atuais se configura como uma necessidade, segundo o relatório do ATLAS de Abastecimento divulgado pela Agência Nacional de Água – ANA, 2009, que aponta um déficit no abastecimento de água até o ano de 2025, para até 64% das cidades analisadas, que corresponde a 70% da população nacional.

O julgamento das alternativas de expansão da capacidade de abastecimento pode ser complexo quando se pensa na quantidade de critérios a serem considerados e nas combinações desses critérios.

O problema de escolha entre alternativas de expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento é considerado um problema de decisão multicritério, pois “é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si” (Almeida, 2010).

No entanto, para que a escolha da alternativa mais apropriada se consolide de forma eficiente é necessário que diversos aspectos sejam considerados, segundo a ótica de diferentes profissionais e *stakeholders*, o que pode gerar conflitos, já que a importância que cada ator dará aos critérios pode ser divergente.

Um modelo de apoio à decisão em grupo é proposto nesse trabalho, como forma de tratar esses conflitos e oferecer uma solução de compromisso.

Nesse capítulo será apresentada a problemática identificada na gestão de recursos hídricos e fatores que justificam essa pesquisa, como também os objetivos desse trabalho, a metodologia utilizada para se atingir esses objetivos e a estrutura que o trabalho apresenta.

## 1.1 Problema

Com o crescimento populacional, urbanização e industrialização a demanda por água nas cidades tem sido ampliada.

Com isso, surge a preocupação com a eficiência dos sistemas de abastecimento de água, de forma a evitar a escassez desse recurso que, além da importância vital e natureza insubstituível, é imprescindível para o desenvolvimento econômico e social.

Além da demanda natural por água, a concentração populacional gera uma demanda adicional de alimentos. Esse incremento gera uma demanda industrial, que por sua vez necessita de água para a produção de seus insumos.

Dessa forma, é evidente a importância do planejamento eficiente dos sistemas de abastecimento de água.

No Brasil a ANA - Agência Nacional de Águas coordena o ATLAS de Abastecimento de Água que por sua vez oferece o diagnóstico das condições atuais de oferta de água das sedes municipais, identifica as principais alternativas técnicas (para mananciais e sistemas de produção de água) e as ações de gestão que garantam o atendimento das demandas para abastecimento humano nos horizontes de 2015 e 2025.

O trabalho desenvolvido pelo ATLAS aponta os déficits de oferta de água, presente e futuro, que necessitam ser equacionados para que se garanta a sustentabilidade urbana, econômica e ambiental dos municípios abrangidos e suas respectivas bacias hidrográficas.

Para isso, foram elaborados estudos demográficos, avaliações das disponibilidades hídricas e dos sistemas de provisão existentes, identificação das ações de tratamento de esgotos visando à proteção dos mananciais utilizados e, por fim, cálculos dos montantes futuros e indispensáveis de investimentos (ANA, 2009).

Assim, dentre os principais resultados para o conjunto de mananciais e sistemas de produção que fornecem água aos centros urbanos abrangidos no ATLAS obteve-se que as demandas urbanas atuais, giram em torno de 553 m<sup>3</sup>/s, o que são praticamente equivalentes à capacidade atual de produção de água, demonstrando que parte das unidades já se encontra no limite da capacidade operacional.

O diagnóstico desse estudo é apresentado na Tabela 1.1 e aponta que dos 2.963 municípios estudados 1.443 necessitam a ampliação do sistema atual de abastecimento e 397 requerem um novo manancial.

A fim de atender essa demanda por adequação e/ou ampliação dos sistemas de abastecimento existentes o ATLAS, através da análise do estudo e projetos preexistentes e a avaliação e seleção de alternativas técnicas, com respectivos custos para o aproveitamento de novos mananciais e adequação de sistemas de produção de água, apresenta a Tabela 1.2 como resultado para planejamento e investimento:



Tabela 1.1 - Diagnóstico das disponibilidades hídricas e da capacidade do sistema produtor em face das demandas previstas.

<b>DIAGNÓSTICO</b>					
Estado	Total de Municípios Estudados	Demanda 2015 (m³/s)	Diagnóstico 2015		
			Abastecimento Satisfatório	Requer investimentos	
				Ampliação de Sistema	Novo Manancial
AC	1	2,8	---	1	---
AL	102	9,1	37	59	6
AM	1	11,3	---	1	---
AP	2	2,2	---	2	---
BA	417	40,9	104	263	48
CE	184	25,6	50	108	25
DF	1	10,4	---	---	1
ES	7	7,6	5	2	---
GO	31	12	7	13	11
MA	122	15,5	21	101	---
MG	275	38,3	118	150	6
MS	1	2,7	1	---	---
MT	2	2,7	---	2	---
PA	6	8,8	1	5	---
PB	223	10,2	80	50	78
PE	184	27,1	56	60	68
PI	223	8,1	31	187	5
PR	50	18,6	25	13	12
RJ	20	73,2	2	15	---
RN	167	9,3	68	73	23
RO	1	1,6	---	---	1
RR	1	1,5	---	1	---
RS	496	36,9	293	145	50
SC	293	18,4	132	138	21
SE	75	5,8	35	29	11
SP	77	108,2	21	25	30
TO	1	1,1	---	---	1
<b>TOTAL</b>	<b>2963</b>	<b>509,8</b>	<b>1087</b>	<b>1443</b>	<b>397</b>

Fonte: ANA, 2009

Tabela 1.2 - Planejamento e Investimento para o aproveitamento de novos mananciais e adequações de sistemas de produção de água

<b>PLANEJAMENTO E INVESTIMENTOS</b>				
Estado	Total de Municípios Estudados	Demanda 2025 (m³/s)	Total de Municípios que requerem investimentos	Total de Investimentos Abastecimento de Água (R\$ milhões)
AC	1	4,5	1	1
AL	102	10,7	84	668
AM	1	17,7	1	406
AP	2	3	2	97
BA	417	45,5	321	2.235
CE	184	28,8	133	895
DF	1	11,6	1	364
ES	7	8,7	2	11
GO	31	14,1	24	1.025
MA	122	18,9	101	338
MG	275	61,6	156	579
MS	1	3	---	---
MT	2	5,9	2	41
PA	6	13,4	5	148
PB	223	11	146	619
PE	184	29,6	137	2.378
PI	223	8,8	196	432
PR	50	23,9	22	198
RJ	20	77,7	15	1.441
RN	167	10,2	105	674
RO	1	5,2	1	35
RR	1	2,1	1	< 1
RS	496	38,9	182	593
SC	293	20,7	155	429
SE	75	6,5	41	455
SP	77	119,1	57	4.221
TO	1	1,2	1	27
<b>TOTAL</b>	2963	602	1.892	18.311

FONTE: ANA, 2009.

Assim, a pesquisa analisou a condição de 2.963 mananciais e sistemas de produção de água encontrou problemas em 1.892, o que significa que cerca de 64% do total das cidades poderão ter abastecimento comprometido até 2025, decorrente de problemas com a oferta de água do manancial (superficial e/ou subterrâneo) ou da capacidade dos sistemas de produção. Para isso, deverão ser investidos mais de R\$18 bilhões até 2015, para garantir o abastecimento de água até 2025.

## 1.2 Justificativa

Diante do problema apresentado, evidencia-se a necessidade de metodologias que sirvam como aporte para a tomada de decisão para a expansão da capacidade dos sistemas públicos de abastecimento.

Porém essa decisão deve contemplar os anseios e necessidades de diferentes interessados, como por exemplo, menores custos iniciais para o órgão investidor, menores custos de manutenção para a concessionária de abastecimento, mínima degradação ambiental, conservação dos mananciais, impactos sociais, etc. Dessa forma, considerando os diferentes interesses dos *stakeholders*, a ocorrência de conflitos é iminente.

De uma forma geral, a escolha da alternativa mais adequada é realizada atualmente através de uma análise técnica detalhada que inclui informação sobre os investimentos inicial de realização do projeto, de manutenção, grau de impactos, dentre outras informações. Esse relatório técnico já aponta uma opção preferida, que normalmente é aceita pela concessionária e apresentada ao poder público no intuito de captar recursos, sem antes haver uma apresentação e debate com as principais partes envolvidas para que se analisem essas alternativas.

No entanto, considerando os investimentos necessários para uma obra de expansão da capacidade de um sistema de abastecimentos e a quantidade de pessoas atingidas, é de suma importância que a decisão tomada transcenda a indicação técnica e, além disso, atenda aos outros interesses, tanto quanto possível.

Diante disso, a pergunta que norteia esse trabalho é: De que maneira as preferências individuais de um grupo heterogêneo devem ser representadas e agregadas para que a alternativa que mais represente os anseios do grupo seja escolhida?

### 1.3 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é:

- Elaborar um modelo de decisão em grupo que considere em sua agregação, além da ordenação das alternativas, as distâncias entre as posições das mesmas em um ranking e forneça a melhor solução de compromisso para o problema de escolha entre alternativas de expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento.

Os objetivos específicos são:

- Indicar um método de estruturação de problema para o nivelamento de informações para a problemática em questão;
- Propor um modelo de avaliação individual das alternativas que além da ordenação contemple a cardinalidade dessa ordem;
- Desenvolver um método de agregação de preferências que resulte na melhor solução de compromisso;
- Analisar a satisfação de cada decisor segundo a diferença de suas preferências a opção escolhida.
- Testar o modelo proposto.

### 1.4 Metodologia

Do ponto de vista da natureza da pesquisa, esse trabalho pode ser classificado como uma Pesquisa Aplicada, pois visa gerar conhecimento para aplicação prática e dirigido à solução de um problema específico: expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento.

Quanto à forma de abordagem do problema, diz-se que é uma Pesquisa Quali-Quantitativa, pois, além de considerar a subjetividade das preferências dos sujeitos envolvidos no processo de decisão, busca-se também quantificar o quanto, uma alternativa é melhor que a outra na visão pessoal de cada ator do grupo de decisão.

A pesquisa é exploratória, considerando a definição de Gil (2002) que diz que a pesquisa exploratória visa aprofundar o conhecimento da realidade e identificar os fatores que determinam e contribuem para a ocorrência de fenômenos.

Dessa forma, os procedimentos técnicos empregados para o alcance dos objetivos foram, a priori, pesquisa bibliográfica, que permitiu maior familiaridade com o tema e conhecimento dos modelos de estruturação de problemas, decisão multicritério e agregação de

preferência. As informações obtidas serviram de base para a Pesquisa Experimental, que resultou na construção do modelo. O objeto de estudo foi a decisão em grupo, as preferências individuais foram as variáveis e a análise de satisfação permitiu visualizar também os efeitos das variáveis na decisão final.

O nivelamento de informações entre os participantes do processo decisório foi efetuado através da realização de um *workshop*.

Para a problemática de ordenação das alternativas pelos decisores, de acordo com suas preferências individuais, foi utilizada uma abordagem, introduzindo a ideia de cartões brancos, fundamentada no Procedimento de Simos, que é descrito na seção 2.5.4, onde as alternativas puderam ser ordenadas e a posição dessas alternativas em um *ranking* indicou a cardinalidade da relação de preferências, ou seja, o quanto mais uma alternativa é preferível em relação à outra, para cada decisor.

O método escolhido para a agregação das preferências individuais foi o Método Copeland, descrito na seção 2.5.3. O resultado da agregação foi inicialmente a ordenação das alternativas, na visão do grupo, para cada um dos critérios. A partir dessa informação pode-se chegar à ordenação final das alternativas que representa as preferências e interesses do grupo, utilizando também o Método de Copeland para realizar essa agregação. Para verificar o intervalo entre as alternativas ordenadas, isso é, o quanto uma alternativa é preferível em relação a outras, foi utilizada a posição média no *ranking* da avaliação pessoal de cada decisor. Assim, o resultado da agregação das preferências individuais foi a ordenação das alternativas.

A comparação entre a ordenação individual e a decisão do grupo foi parâmetro para analisar o nível de satisfação dos decisores com a ordenação final.

O modelo de decisão em grupo desenvolvido foi testado em um experimento ilustrativo.

## 1.5 Estrutura da Dissertação

O capítulo a seguir apresenta a base conceitual que norteia esse trabalho. Esse capítulo aborda os principais conceitos sobre Apoio à Decisão, destacando a metodologia de apoio à decisão multicritério, métodos de estruturação de problemas, ordenação de preferências individuais e agregação de preferências.

O terceiro capítulo trata da Expansão da Capacidade de Sistemas Públicos de Abastecimento, descrevendo-os de uma forma geral e apontando os fatores considerados na expansão de sua capacidade.

Em seguida, no capítulo quatro, o modelo sugerido para apoio ao planejamento da expansão de sistemas públicos de abastecimento é apresentado e cada passo é descrito.

Para ilustrar a aplicabilidade do modelo, o quinto capítulo trata de caso fictício, onde é possível acompanhar cada passo da metodologia proposta no capítulo anterior. Além disso, foi realizado uma análise de sensibilidade, testando a variação nos resultados, caso a agregação seja feita por critérios ou por decisores e finalmente a aplicação da análise de satisfação.

E, por fim, o sexto capítulo apresentará as conclusões do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 BASE CONCEITUAL

Esse capítulo aborda o conceito de Decisão em Grupo, destacando a sua importância no processo de tomada de decisão de forma a integrar a diversidade de pontos de vista e juízo de valores dos diferentes agentes tomadores de decisão.

### 2.1 Apoio à Decisão

O processo de tomada de decisões é comum em todas as esferas da vida. Todo ser humano está tomando decisões constantemente, mesmo aqueles que não se dão conta disso.

As decisões podem variar das mais simples até as mais complexas. À medida que se aumenta a complexidade e os impactos dessa decisão são requeridos métodos que auxiliem aos seus responsáveis encontrarem a solução mais adequada para o problema em questão.

Roy (1996) afirma que decisões são feitas quando se escolhe fazer ou não fazer algo, optando por fazê-la de certo modo. Decisões raramente são tomadas por um indivíduo apenas. Seja um oficial governamental, um presidente de companhia ou um diretor de um departamento específico. A decisão geralmente será o produto de uma interação entre as preferências individuais de todos os indivíduos (atores) envolvidos.

Estes atores são o que Banville et al. (1993) apud Roy (1996) chama de *stakeholders*, que são aqueles indivíduos que têm interesse na decisão e interagem diretamente sobre ela, baseados no sistemas de valores que possuem.

No contexto do processo de tomada de decisão, dois conceitos importantes são critérios e ações.

O termo critério poderia ser considerado algum tipo de padrão pelo qual uma escolha particular ou um curso de ação poderiam ser julgados para uma ação ser mais desejável que outra. Ou seja, critério significa “um meio ou padrão de julgamento” (Belton e Stewart, 2002). Um sinônimo para critérios seria objetivos. Aos objetivos estão associados às consequências da escolha pela alternativa a ser seguida. A estes objetivos são associadas variáveis que os representam e permitem a avaliação de cada alternativa, como base em cada objetivo. Essas variáveis podem ainda ser chamadas de atributos e dimensões (Almeida, 2010). A decisão é fortemente relacionada com a comparação de diferentes pontos de vista, alguns em favor e alguns contra uma determinada decisão. Isto significa que a decisão está intrinsecamente relacionada com uma pluralidade de pontos de vista, o que pode ser aproximadamente definida como critérios (Figueira et al 2005).

A definição de ações (soluções, decisões, objetos, candidatos, alternativas, etc) é muitas vezes um dos passos mais difíceis no procedimento de suporte à decisão.

Roy (2005) define apoio à decisão como a atividade desenvolvida por alguém que, através do uso de modelos explícitos, mas não necessariamente completamente formalizado, ajuda a obter elementos de respostas às questões colocadas por uma das partes interessadas em um processo de decisão. Estes elementos de trabalho são úteis para esclarecer a decisão e, geralmente, para recomendar, ou simplesmente favorecer, um comportamento que vai aumentar a coerência entre a evolução do processo e os objetivos das partes interessadas e este sistema de valores. Esse apoio à decisão visa estabelecer, em bases científicas reconhecidas, com referência a hipóteses de trabalho, formulações de proposições (elementos de respostas às perguntas, uma apresentação de soluções satisfatórias ou compromissos possíveis, etc) que depois são submetidos ao julgamento de um tomador de decisão e / ou os diversos atores envolvidos no processo decisório. Conforme o caso, o responsável pelo apoio à decisão pode, assim, contribuir para:

- Analisar o contexto de tomada de decisão, identificando os atores, as várias possibilidades de ação, suas consequências, os riscos, ...;
- Organização e / ou estruturação da forma que o processo decisório se desdobra, para aumentar a coerência entre os valores subjacentes os objetivos e metas e a decisão final a que se chegou;
- Levar os atores a cooperar propondo chaves para uma melhor compreensão mútua e um quadro favorável ao debate;
- Elaboração de recomendações utilizando os resultados dos modelos e procedimentos computacionais concebidos no âmbito de um trabalho hipótese;
- Participar na legitimação da decisão final.

Em situações em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher e esta escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes entre si, pode-se dizer que esse é um problema de decisão multicritério. A comparação entre as ações potenciais deve ser feita de forma abrangente, com respeito a todos os critérios. Várias técnicas de agregação têm sido propostas e utilizadas a fim de superar esse tipo de dificuldade (Roy, 2005).



## Conceito de ação

Como referido, analisar e identificar possibilidades de ação é uma atividade do apoio à decisão. Os tipos de ação, que formam o ponto de aplicação do apoio à decisão podem se referir a objetivos físicos ou variedade (por exemplo: modelos de carros, equipamentos, etc), um elemento ou suporte que receberá uma ação (um pedido de empréstimo a ser aceito, rejeitado ou posto de lado por um tempo), ou um estado que vai assumir certas características da decisão (valores numéricos descrevendo a alocação de cada subsídio). Roy (1996) mesmo considerando essa diversidade de tipos de ações, apresenta o seguinte conceito geral:

Uma ação “a” é a representação de uma possível contribuição para a decisão abrangente que pode ser considerada de forma autônoma em relação ao estado de desenvolvimento do processo e decisão que pode servir como um ponto de pedido de ajuda à decisão

Dizer que a ação pode ser considerada de forma autônoma significa que ela pode ser isolada de todas as outras ações sem perder seu impacto na decisão ou seu valor como um ponto de aplicação para o apoio à decisão.

O conceito de ação não visa, a priori, incorporar qualquer noção de viabilidade, ou possível implementação. Uma ação é qualificada como potencial quando se considera possível para implementá-la, ou simplesmente quando ela merece algum interesse dentro da decisão auxiliando processo (Roy, 2005).

Roy (1996) destaca a diferença entre ações *reais* e *fictícias*, onde a primeira corresponde a ações que podem ser executadas e a segunda, ações que correspondem a projetos idealizados, incompletos ou mesmo hipotéticos. A diferença entre ações *realistas* e *irrealistas* também é destacada, onde as ações realistas correspondem aos projetos onde sua implementação pode ser razoavelmente prevista e ações irrealistas, as ações irrealistas, apesar de inviáveis por satisfazer objetivos incompatíveis, proporcionam bons fundamentos para discussão e raciocínio.

As ações podem ainda ser classificadas como *globais*, onde ela é exclusiva de todas as outras ações introduzidas no modelo quando executado, ou *fragmentada*, quando várias ações podem ser combinadas para serem executadas juntas.

O conceito de alternativa corresponde ao caso particular em que a modelagem é tal que duas *ações potenciais* distintas não podem de forma alguma, ser colocadas em prática conjuntamente.

Uma ação potencial ou candidata é uma ação real ou fictícia temporariamente julgada realista para pelo menos um dos atores ou para o analista.

Assim, seja  $A$  o conjunto de ações potenciais consideradas em uma determinada fase do processo de apoio à decisão. Este conjunto não é necessariamente estável, ou seja, pode evoluir ao longo do processo de apoio à decisão. Essa evolução pode vir do ambiente do estudo, mas também do próprio estudo. O estudo pode lançar luz sobre alguns aspectos do problema, que poderia levar à revisão alguns dos dados e, possivelmente, para modificar a fronteira entre o que é e o que não é viável.

É nesse sentido que as definições de *estabilidade interna* e *externa*, apontadas por Roy (1996), se fazem importantes. Diz-se que um conjunto de ações  $A$  possui estabilidade interna quando ele é fixo, ou seja, não pode ser alterado. Quando essa condição não é satisfeita, uma distinção deve ser feita, entre o conjunto de ações inicial, designado agora de  $A_0$  e os conjuntos  $A_1, A_2, \dots$ , que podem ser derivados de sucessivas revisões. Essas revisões podem ser necessárias caso as fronteiras que caracterizam as ações potenciais sejam tidas como arbitrárias, ou ainda quando os resultados obtidos com o conjunto inicial  $A$  parecem insuficientes e motivam a investigação para novas ações potenciais. Neste caso, pode ser emitida simples retificação nas fronteiras. Dessa forma, torna-se necessário repensar nas várias bases usadas na estabilidade de  $A$ . Já o conceito de estabilidade externa considera que o conjunto  $A$  possui uma definição completa e não considera uma possível característica transitória. Assim, essa condição pode não ser satisfeita se a recomendação precisar ser adaptada para o conjunto  $A$  que é esperado para exibir importantes mudanças devido aos efeitos naturais de seu ambiente.

Concentrando o conjunto de ações no caso discreto, tem-se que  $A = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}$  onde  $n$  é igual a quantidade de alternativas (Almeida, 2010).

### **Conceito de critérios**

Um critério  $g$  é uma ferramenta construída para avaliar e comparar possíveis ações de acordo com um ponto de vista que deve ser (tanto quanto é possível) bem definido. Esta avaliação deve levar em conta, para cada ação  $a$ , todos os efeitos pertinentes ou atributos ligados ao ponto de vista considerado. É denotada por  $g(a)$  e chamado de desempenho de  $a$  de acordo com este critério (Roy, 2005).

Frequentemente,  $g(a)$  é um número real, mas em todos os casos, é necessário definir explicitamente a conjunto  $X_g$  de todas as avaliações possíveis para que este critério pode levar. Para permitir comparações, deve ser possível definir uma ordem completa  $<_g$  em  $X_g$ :  $(<_g, X_g)$  é chamada de escala do critério  $g$ . Para ser aceito por todos os *stakeholders*, um critério não deve pôr em jogo, de uma forma que pode ser determinante, qualquer aspecto que reflete um sistema de valores que alguns desses *stakeholders* acharia necessário rejeitar. Isso implica em particular que a direção para a qual as preferências aumentam ao longo da escala (e mais geralmente a ordem completa  $<_g$ ) não está aberto a contestação (Roy, 2005).

Elementos  $x \in X_g$  são chamados de graus ou *scores* da escala. Cada grau pode ser caracterizado por um número, uma declaração verbal ou um pictograma. Quando estiver em ordem para comparar duas ações de acordo com o critério que compara os dois graus utilizados para avaliar seus respectivos desempenhos, é importante analisar a significado concreto em termos de preferências, cobertos por tais graus. Isto leva para distinguir os vários tipos de escalas.

Almeida (2010) sintetiza os tipos de escala em escala numérica e escala verbal e afirma que o tipo de escala é definido em função da classe de transformações admissíveis. Dentre as escalas numéricas destacam-se as de escala de razão, escala intervalar, escala de diferenças e escala ordinal.

- Na escala ordinal os números representam apenas a ordem entre os objetos avaliados. Nessa escala, não há cardinalidade e é considerada a escala com menor quantidade de informação. Por exemplo, se uma ação é ordenada em primeiro lugar e uma outra ação em segundo, isso não significa que a primeira ação é duas vezes melhor que a segunda.
- A escala de razão, por outro lado, é a que possui maior quantidade de informação. Esta escala tem unidade e origem representada no zero. Os números representam quantidade, e portando, é possível verificar relações do tipo: *score* zero significar ausência de unidades; desempenho de uma ação é o dobro, ou triplo de outra; e ainda é possível realizar transformações.
- Na escala intervalar, a cardinalidade dos números está no intervalo. A percepção de intervalo pode ser muito importante para o decisor na comparação das alternativas, visto que revela quanto uma alternativa acrescenta a mais de valor em relação a outra alternativa.

- Na escala de diferença é possível efetuar uma translação, do tipo,  $y = x + b$ , onde a origem da escala é mudada, mas a unidade permanece.
- As escalas verbais são conhecidas também como nominais ou semânticas e permite fazer classificações das alternativas comparadas. A avaliação nessa escala pode ter características qualitativas, como também quantitativas. As escalas podem ter o mesmo significado de uma escala ordinal e podem ser transformadas em números.

### 2.1.1 Decisão Multicritério

Segundo Belton & Stewart (2002) toda decisão que tomamos requer o balanço de muitos fatores critérios algumas vezes explicitamente, algumas vezes sem uma percepção anterior. Em qualquer um desses sentidos a tomada de decisão em multicritério é bem praticada.

Quando as escolhas são significativas, os impactos são de longo prazo, a escolha pode afetar muitas pessoas e os erros podem não ser facilmente remediados, a importância de métodos e ferramentas de decisão é destacada. Visto que, de acordo com Belton & Stewart (2002), o cérebro humano pode considerar simultaneamente apenas uma quantidade limitada de informações, dessa forma todos os fatores não podem ser resolvidos na cabeça de alguém.

Um dos principais objetivos da abordagem de apoio à decisão multicritério é ajudar os tomadores de decisão a organizar e sintetizar tanta informação em uma forma a levá-los a sentirem-se mais confortáveis e confiantes acerca da decisão tomada, minimizando a possibilidade de arrependimento por estar satisfeito que todos os fatores ou critérios tenham sido apropriadamente levados em conta (Belton e Stewart, 2002).

Roy (1996) define modelo como um esquema que, para certa família de questões, é considerada como uma representação de uma classe de fenômeno que um observador tem mais ou menos removido cuidadosamente do ambiente para ajudar em uma investigação e para facilitar a comunicação.

Casti (1989) afirma que o estudo de sistemas naturais começa e termina com a especificação de observações pertencentes a tal sistema, e a caracterização da maneira que eles estão ligados.

Um modelo é uma representação simplificada ou abstração da realidade de um sistema, onde apenas os aspectos relevantes para certa análise desse sistema é considerada.

Harvey (1986) defende que a construção de um modelo ajuda a colocar as complexidades e possíveis incertezas que acompanha um problema de tomada de decisão dentro de uma estrutura lógica passível de uma análise abrangente, onde se pode perceber as alternativas de decisão, os efeitos previstos e os dados relevantes para analisar as alternativas e levar a conclusões.

Um problema pode seguir diversos modelos. A escolha de um modelo se dá pelas características do problema, formas de expressá-lo e hipóteses que se possam estabelecer.

Na construção de modelo de decisão multicritério, Almeida (2010) sugere algumas etapas, não implicando uma sequência rígida, para a modelagem de um problema multicritério:

1-Identificação dos decisores.

2-Identificação dos objetivos.

3-Estabelecimento dos critérios relevantes.

4-Estabelecimento da estrutura de espaço de ações, da problemática, e desenvolvimento do processo de geração de alternativas.

5-Avaliação e identificação dos fatores relevantes que não estão sob o controle do decisor.

6-Modelagem de preferências do decisor que inclui as duas etapas a seguir e é base para a escolha do método multicritério.

7-Avaliação intra-critério.

8-Avaliação inter-critério.

9-Avaliação global das alternativas.

10-Análise de sensibilidade e de robustez.

11-Análise dos resultados e elaboração de recomendação para o decisor.

12-Implementação da decisão.

Belton & Stewart (2002) apontam algumas observações notáveis quanto à aplicação de método multicritério de apoio à decisão. O primeiro fato é que o conceito de ótimo não existe em sistema multicritério, assim não existe uma solução ótima dentro do contexto no auxílio à tomada de decisão. Outro ponto a ser destacado é que a subjetividade é inerente a toda tomada de decisão e, portanto, esse aspecto não é afastado. O que se procura é simplesmente fazer o necessário para explicitar os julgamentos subjetivos e o processo pelo qual eles são tomados levando em conta a transparência. Assim, o principal benefício é facilitar o aprendizado dos tomadores de decisão e entendimento acerca do problema enfrentado, acerca

de suas prioridades e as dos demais, e através destes, no contexto do problema, explorar valores e objetivos para guiá-los na identificação de um curso de ação preferido.

A escolha do método multicritério de apoio à decisão a ser aplicado deve considerar os tipos de dados requeridos pelo decisor. Roy (1996) identificou quatro diferentes problemáticas, largas tipologias ou categorias do problema, para as quais os métodos de apoio à decisão multicritério podem ser úteis:

- Problemática de escolha (P.  $\alpha$ ): apresenta o problema em termos da escolha da “melhor” ação, esclarece a decisão pela escolha de um subconjunto  $A'$  de  $A$ , tão pequeno quanto possível, o menor possível, o que irá simplificar para o decisor encontrar o que deve ser a saída para o próximo ponto crítico da análise, mantendo em mente que  $A$  pode vir a mudar. O ideal seria eliminar todas menos uma ação que deveria ser tão boa quanto todas as que tenham sido eliminadas (Roy, 1996). O auxílio é orientado para seleção de um pequeno número (o menor possível) de “boas” ações e pode também, mais modestamente, ser baseada em comparações entre as ações, de modo a justificar a eliminação do maior número deles (Roy, 2005).
- Problemática de Classificação (P.  $\beta$ ): O auxílio é orientado para em uma atribuição de cada ação a uma categoria (julgado o mais adequado) entre aqueles de uma família de categorias pré-definidas. Esta família deve ser concebida com base em diversos tipos de tratamentos, ou julgamentos, concebível para as ações que motivam a classificação (Roy, 2005). Nesta problemática tenta-se estabelecer características como “certamente boa”, “certamente verdadeira”, “provavelmente satisfatória”, “definitivamente ruim”, “definitivamente falsa”. Uma categoria pode ser criada para aceitar aquelas ações que não se ajustem em qualquer outra categoria. Cada uma das categorias deve possuir uma definição intrínseca, isto é, uma definição que não se refira a outra categoria (Roy, 1996).
- Problemática de Ordenação (P.  $\gamma$ ): Essa problemática ordena as ações de preferência de forma crescente ou cria um procedimento de ordenação. O auxílio à decisão é orientado a uma pré-ordem completa ou parcial em  $A$ , que pode ser considerado como um instrumento adequado para comparar as ações entre si, em que pré-ordem é o resultado de um processo de classificação que permite reunir em classes ações que podem ser julgadas como indiferentes, e para classificar essas classes (alguns deles podem permanecer não-comparáveis) (Roy, 2005).

Essa problemática direciona a investigação no sentido de determinar uma ordem definida em um subconjunto de  $A$  de forma a ser capaz de determinar estas ações que possam ser consideradas como “suficientemente satisfatórias” baseada em um modelo de preferência, mantendo em mente que  $A$  pode mudar (Roy, 1996).

- Problemática de descrição (P.  $\delta$ ): Tem como objetivo apoiar a decisão através de uma descrição por meio da ordenação das ações e suas consequências (Almeida, 2010). A problemática descritiva apresenta o problema em termos da descrição das ações de  $A$  e suas consequências, isto é, dirige a investigação para tornar a informação relacionada com ações prováveis explícitas, para ajudar ao tomador de decisão descobrir, entender e avaliar as ações, enquanto mantém em mente que  $A$  pode modificar-se (Roy, 1996).

Os métodos de apoio à decisão multicritério são agrupados, normalmente em Métodos de Sobreclassificação (*outranking method*), Teoria da Utilidade Multiatributo, Programação Matemática Multiobjeto e abordagem não clássica (Figueira et al 2005). Já Vincke (1992) apresenta os métodos em três famílias: Teoria da Utilidade Multicritério (MAUT), Métodos de Sobreclassificação (*Outranking*) e métodos iterativos.

## 2.2 Decisão em Grupo

Pessoas tomam uma decisão em grupo quando estão diante de um problema em comum e estão interessados na solução (Leyva-López & Fernández-González, 2003). Esses problemas podem variar do mais simples e cotidiano, como a escolha de um restaurante entre um grupo de pessoas, até problemas mais complexos, como o planejamento do investimento de recursos públicos. Cada decisor geralmente tem seus próprios objetivos específicos. Esses objetivos podem ser bastante conflitantes e uma decisão consensual pode ser difícil (Macharis et al, 1998).

Assim, Decisão em Grupo é entendida como uma redução de diferentes preferências individuais em uma única estrutura de preferência coletiva cujo objetivo final é a prescrição de um *ranking* final do grupo, com as preferências individuais uma vez que tenham sido estabelecidas (Leyva-López & Fernández-González, 2003).

Dias & Clímaco (2005) apontam os processos de decisão em grupo e negociação como atividade humanas complexas, o que justifica estudos multidisciplinares.

Young (1988) afirma que um problema central da teoria da democracia é justificar a regra da maioria. Quando se pergunta o porquê da opinião da maioria de um grupo representar

todo o restante uma resposta célebre foi dita por Rousseau em 1762 em *O contrato social* e diz que a opinião da maioria representa o “desejo geral”. Quando ocorre uma eleição e cada um vota segundo a sua opinião para aquela questão, a contagem de votos indica a vontade geral. No entanto, se um indivíduo expressa a sua opinião, porém a opinião contrária prevalece isso prova apenas que aquele indivíduo cometeu um erro e que o que ele acreditava ser o desejo geral, na realidade não era. O matemático e filósofo social Marie Jean Antoine Nicolas Caritat, o marquês de Condorcet, deu uma expressão mais satisfatória a essa ideia ao propor o seguinte argumento para decisão pela maioria:

“Eleitores esclarecidos tentam honestamente julgar que decisão servirá melhor a sociedade. Eles podem ocasionalmente julgar errado. Mas assumindo que eles estão frequentemente mais certos que errados, a opinião da maioria, será muito provavelmente ‘correta’”.

Condorcet rigorosamente demonstrou essa afirmação usando cálculos recém-desenvolvidos de probabilidades.

Para Condorcet, assim como pra Rousseau, o objetivo da votação não é meramente balancear opiniões subjetivas, mas é uma busca coletiva pela verdade (Young, 1988).

Pessoas diferem em suas opiniões porque elas são imperfeitas em julgar que decisão realmente é a melhor.

O método de votação de Condorcet considera uma lista de candidatos (ou decisões) que são votados a partir de uma comparação par-a-par. Pergunta-se: “*a*” é melhor do que *b* ou *b* é melhor do que “*a*”? Escolhe-se corretamente cada um dos candidatos com uma probabilidade fixa maior do que  $\frac{1}{2}$ . Dada uma série de votos par-a-par o problema colocado por Condorcet é encontrar o *ranking* de todos os candidatos que é mais provável que esteja correto.

Outro pioneiro na Teoria da Votação foi Chevalier Jean Charles de Borda. Borda sugeriu um procedimento de votação que devia ser baseado em cada classificação completa dos eleitores na ordenação dos candidatos. O candidato correto para escolha seria aquele com a média mais alta na lista dos eleitores.

O método de Condorcet é melhor quando se busca a definição de um *ranking*, enquanto que o método de Borda desempenha melhor papel quando se necessita de apenas um candidato (Young, 1988).

Condorcet e Borda originaram as pesquisas em decisão coletiva. Dos procedimentos sugeridos por eles, muitos outros procedimentos surgiram como forma de chegar a uma função de escolha social.



Uma função de escolha social é uma regra que atribui para cada coleção de preferências individuais e subconjuntos de alternativas, um subconjunto de alternativas.

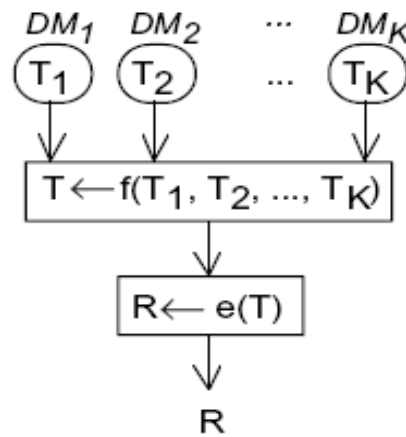
Votação pode ser considerada um método de se chegar à escolha social derivada das preferências individuais (Arrow, 1950).

A agregação das perspectivas individuais pode acontecer tanto no nível de entrada como no nível de saída. A nível de entrada, é solicitado que o grupo concorde com as alternativas, critérios, *scores*, pesos, limiares e restante dos parâmetros antes do modelo apresentar o *ranking*. Quando a discussão é fechada e todas as informações individuais recolhidas, uma técnica é usada pra obtenção de valores dos parâmetros do modelo que podem representar a opinião coletiva. Já a nível de saída, um consenso do grupo só é necessário para definir o conjunto de ações potenciais. Cada membro define seus próprios critérios, as avaliações apropriadas e modelos de parâmetro, e então o método de apoio à decisão multicritério é usado para obter um *ranking* individual. Depois cada decisor é considerado como um critério separado e a informação preferencial contendo seu *ranking* pessoal são agregados em uma ordenação coletiva com a mesma (ou outra) abordagem de decisão multicritério (Leyva-López & Fernández-González, 2003).

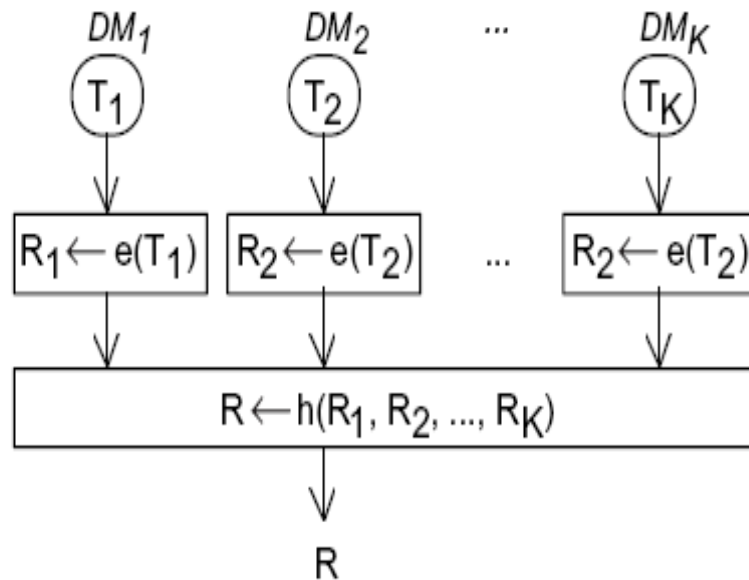
Dias & Clímaco (2005) também diferem as formas de agregação, a nível de entrada e a nível de saída e representam essa distinção visualmente através da Figura 2.1.

A nível de entrada (Figura 2.1 a)) um operador  $f(.)$  agrega os  $T_k$ , julgamentos individuais, em um conjunto  $T$  de valores aceitos pelo grupo, onde  $k$  corresponde ao número de decisores. Um operador  $e(.)$  obtêm os resultados do método  $R$  compatível com  $T$ .

A nível de saída (Figura 2.1 b)) um operador  $e(.)$  obtêm os resultados do método  $R$  compatível com o  $T_k$  de cada decisor. Um operador  $h(.)$  agrega os resultados individuais  $R_k$  em um conjunto  $R$ . Esse resultado pode ser obtido, utilizando como entrada, a agregação dos julgamentos individuais, ou ainda, a agregação do grupo para cada critério.



a) Perspectivas individuais agregadas a nível de entrada



b) Perspectivas Individuais agregadas a nível de saída.

Figura 2.1 Agregação das preferências individuais.

Fonte: Dias & Clímaco, 2005.

Alguns modelos de decisão multicritério são estendidos para a tratamento de problemas de decisão em grupo. Dentre esse métodos, se destacam o ELECTRE-GD (Leyva-López & Fernández-González, 2003), PROMETHEE-GDSS (Macharis et al; 1998) e o VIP-G (Dias & Clímaco, 2005).

## 2.3 Estruturação do Problema

Quando se trata de decisão em grupo, é de extrema importância que todos os envolvidos possuam o mesmo entendimento do problema abordado. Encaixar um problema de decisão em um modelo pode resultar em uma solução correta de um problema errado (Bouysoou et al, 2006).

Assim, a escolha de um Modelo de Decisão apropriado ao problema por si só, não garante uma solução correta ao problema. É de imprescindível importância que o problema seja estruturado antes de qualquer priorização de escolha e avaliação do modelo.

Para que situações de solução do problema errado não ocorram é necessário que se utilizem métodos e ferramentas capazes de proporcionar o nivelamento das informações, de forma que todos os envolvidos possuam um conhecimento adequado a respeito do problema.

A formulação do problema é de importância fundamental para a eficiência de sua solução. Para isso, a literatura oferece alguns Métodos de Estruturação de Problemas.

Metodologias de estruturação de problemas ajudam os decisores a entender melhor suas prioridades, melhor justificá-las e legitimar suas conclusões e facilitar a validação do processo (Bouysoou et al, 2006).

### 2.3.1 Métodos de Estruturação de Problemas

Dentre as metodologias de estruturação de problemas conhecidas, Bouysoou et al (2006) destaca:

- Mapeamento Cognitivo;
- Escolha Estratégica;
- Metodologia de Sistemas Soft (SSM);
- Pensamento Focado no Valor (VFT); e
- Abordagens Integrativas.

Bouysoou et al (2006) descreve esses métodos, como se segue:

Mapeamentos Cognitivos objetivam apresentar uma representação de como uma pessoa “pensa” sobre um conjunto de escolhas. A ferramenta básica é simples: uma rede em que nós representam as escolhas priorizadas pelo cliente ao qual o mapa está sendo construído e os aros representam a maneira em que uma escolha pode levar para, ou ter uma implicação em alguma outra. Escolhas são representadas como sentenças chamadas por “ações” ou “solução de problemas” e aros mostram como tal ação (ou possível solução) influenciará no resultado de outras.

O que é mais importante nesse método, não é a ferramenta em si, mas a construção de uma entrevista que levará ao estabelecimento do mapa cognitivo. Uma importante figura na construção de um mapa cognitivo é o facilitador. É ele que conduz a discussão e desenha os mapas cognitivos, de acordo com as respostas do cliente bem como o desenvolvimento da discussão durante a seção de mapeamento cognitivo.

Mapeamentos cognitivos se apresentam como extremamente úteis quando os clientes consistem em uma grupo de pessoas envolvidas em um processo de decisão organizacional em que a emergência de consenso em diferentes escolhas é extremamente difícil e permanece sujeitas a poder de manipulações.

O escopo de um mapa cognitivo é oferecer ao cliente uma representação de como se percebe o problema e como eles esperam agir diante dele.

Um outro Método de Estruturação de problemas bem conhecido é Escolha estratégica. Tal método busca tocar a complexidade de interconectar problemas de decisão. A ideia básica é que essas situações de problemas complexos são caracterizadas por diversas incertezas requerendo um gerenciamento estratégico. A base filosófica desse método é “gerenciar incertezas de uma maneira estratégica” (Bouysoou et al, 2006).

A Metodologia de Sistemas Soft (SSM) é um sistema de aprendizagem. A aprendizagem é sobre uma complexa situação de problemática humana, e leva a encontrar acomodações e tomar medidas propositalis na situação visando à melhoria, a ação que parece sensata para os interessados (Bouysoou et al, 2006).

A SSM é a abordagem para resolução de problemas desenvolvida da Engenharia de Sistemas quando essa abordagem falha. A Engenharia de Sistemas falha ao serem feitas tentativas para aplicá-la em problemas confusos, mal definidos com que os gerentes precisam lidar em sua vida profissional quotidiana. Essa abordagem visa a apoiar o tomador de decisão, a construir modelos de ação para solucionar seus problemas e, baseada na aprendizagem, procura descobrir os aspectos cruciais de uma situação problema, fazendo com que as pessoas reflitam como esse problema surgiu ou quais são seus processos fomentadores. É muito utilizada como promotora de consenso, pois cada indivíduo enxerga as dificuldades influenciados pelo seu modelo mental individual (Checkland, 2004).

A partir do momento em que são discutidas simultaneamente surgirão diferentes opiniões e posições e a decisão final, advinda do modelo mental compartilhado será, portanto, mais legítima. Neste contexto, pode-se atribuir à metodologia mais um papel: o de orquestrar conflitos, já que, após o consenso todos pensarão igualmente. SSM aprende através da

comparação de modelos puros de atividade objetiva (na forma de modelos de sistemas da atividade humana) com as percepções de qual ação se passa no mundo real de uma situação problemática (Checkland, 2004).

A SSM foi projetada para ajudar a formular e resolver situações chamadas de “*soft*”, problemas desestruturados e complexos e geralmente com vários componentes humanos, apresentando, em função desta característica, diferentes percepções do mesmo problema ou objetivo, diferentes *Weltanschauungen* (visões do mundo) dos diversos *stakeholders* envolvidos no sistema (Checkland, 2004).

Outra metodologia é o Pensamento Focado no Valor (VFT). Normalmente os métodos de tomada de decisão centram a sua atenção na avaliação de alternativas depois que tais alternativas foram criadas ou dadas. Em vez disso, o foco deveria ser dado à forma como tais alternativas são ou podem ser estabelecidas e a sugestão do autor é: pensando em valores e objetivos. Assim, objetivos fundamentais são então estruturados em atributos para os quais funções de valor podem ser construídos de forma a “medir” a conveniência dos resultados e conquistas para cada objetivo. Tais atributos resultam na “decomposição” dos objetivos fundamentais em “sub-objetivos” cujas dimensões contribuem para definir os valores do cliente (Bouysoou et al, 2006).

A abordagem integrativa surge na necessidade de integração de diversas abordagens de análise de decisão multicritério. No processo de análise de decisão a identificação dos problemas de escolha, a estruturação do problema, a construção do modelo, uso do modelo para informar e desafiar o pensamento e o desenvolvimento de um plano de ação são distinguidos. O problema de estruturação parte do processo de análise de decisão multicritério, onde é sugerida uma lista de assuntos para análise, a fim de ser possível estabelecer um modelo: critérios, alternativas, incertezas, *stakeholders* e fatos ambientais e incertezas. A ideia é considerar que no processo de análise de decisão multicritério o uso de diferentes técnicas é impulsionado pela situação problema e não por um método particular (Bouysoou et al, 2006).

## 2.4 Preferências Individuais

Em circunstâncias onde as decisões são significativas, os impactos de longo prazo e as consequências dessas escolhas podem afetar muitas pessoas e os erros podem não ser remediados facilmente, os métodos e ferramentas de apoio à decisão se fazem úteis.

Depois que o problema é estruturado o decisor possui informações sobre o problema, de forma a identificar as alternativas e avalia-las de acordo com os critérios estabelecidos estabelecendo assim preferências entre si.

#### 2.4.1 Estrutura de Preferências

Segundo Vincke (1992) preferências é um elemento essencial nas vidas das pessoas bem como nas comunidades. Sua modelagem é uma etapa indispensável na tomada de decisão. Quando um decisor comparar duas ações, ditas  $a$  e  $b$ , ele reagirá em uma das três formas:

1. Tendo preferência por uma delas;
2. Tendo indiferença entre elas;
3. Rejeição ou incapacidade para compará-las.

Essas relações de preferências podem ser expressas da seguinte forma:

- $aPb$  se  $a$  é "preferido" a  $b$  ( $bPa$  para o oposto);
- $aIb$  para indiferença entre os dois;
- $aJb$  para incomparabilidade.

Já Roy (1996) classifica essas situações básicas de preferência em:

- Situação de indiferença: em que existe apenas uma situação possível:  $a$  e  $a'$  são de igual valor.
- Situação de estrita preferência: em que há duas possibilidades:  $a$  é estritamente preferível a  $a'$  ou  $a'$  é estritamente preferível a  $a$ .
- Situação de fraca preferência: em que há duas possibilidades:  $a$  é fracamente preferível a  $a'$  ou  $a'$  é fracamente preferível a  $a$ .
- Situação de incomparabilidade: em que há apenas uma possibilidade:  $a$  e  $a'$  são incomparáveis.

As definições e propriedades dessa relação podem ser sintetizadas na Tabela 2.1.

Roy (1996) apresenta o axioma da comparabilidade limitada que diz que as quatro situações básicas conflitantes de indiferença, estrita preferência, preferência fraca e incomparabilidade são úteis em estabelecer uma representação realística das preferências do ator  $Z$  (o analista julgando em nome de  $Z$ ), quaisquer que sejam as ações consideradas, o ponto de vista tomado para compará-las, e a informação disponível, ou podem desenvolver um modelo satisfatório que desenvolva ou documente as preferências de  $Z$  por destinar uma, ou um grupo de duas ou mais destas quatro situações básicas, para qualquer par de ações.

Tabela 2.1 - Relações Básicas de Preferência

Situação	Definição	Relação binária
Indiferença	Corresponde a existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre duas opções.	I: relação reflexiva e simétrica
Estrita preferência	Corresponde a existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (identificada) das duas ações.	P: relação assimétrica
Fraca preferência	Corresponde a existência de razões claras e objetivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações; mas essas razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor de outra ou uma indiferença entre duas ações; portanto, não é possível distingui-las.	Q: assimétrica
Incomparabilidade	Corresponde a ausência de razões claras e positivas que justifique qualquer das três relações precedentes.	R: simétrica

Fonte: Roy(1996)

Isso ocorre, pois o analista julgando em nome de Z (bem como o ator Z por ele mesmo) tem várias razões para tentar evitar o dilema da “indiferença” ou a “estrita preferência” quando tem de comparar duas ações  $a$  e  $a'$ . Ele pode: não ser capaz de decidir, não saber como decidir, ou ainda não desejar decidir.

Essa consolidação de duas ou mais ações representam 5 situações:

- Não preferência ( $\sim$ )
- Preferência ( $>$ )
- J – preferência (J)
- K – preferência (K)
- Sobreclassificação (S)

Essas relações e suas definições são expressas na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 - Relações consolidadas e situações de modelagem de preferências

Situação	Definição	Relação binária (propriedades)
Não-preferências	Corresponde a uma ausência de razões claras e positivas que justificam preferência estrita ou fraca em favor de uma das duas ações e, assim, consolida situações de indiferença e incomparabilidade sem ser capaz de diferenciá-las.	$\sim: a \sim a' \leftrightarrow$ $a I a' \text{ ou } a R a'$
Preferências	Corresponde a existência de razões claras e positivas que justificam preferência estrita ou fraca em favor de uma (identificada) das duas ações e, assim, consolida situações preferências estrita e fraca sem ser capaz de diferenciá-las.	$>: a > a' \leftrightarrow$ $a P a' \text{ ou } a Q a'$
J-preferências	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam as preferências fracas, não importa quão fraca, em favor de uma (identificada) das duas ações, ou, no limite, a indiferença entre as duas ações, mas sem significativa divisão estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.	$J: a J a' \rightarrow$ $a Q a' \text{ ou } a I a'$
K - preferências	Corresponde à existência de razões clara e positivas que justificam a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações ou incomparabilidade entre as duas ações, mas sem divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência e incomparabilidade.	$K: a K a' \rightarrow$ $a P a' \text{ ou } a R a'$
Sobreclassificação	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam quer preferência ou J-preferência em favor de uma (identificada) das duas ações, mas sem divisão significativa a ser estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.	$S: a S a' \rightarrow$ $a P a' \text{ ou } a Q a'$ ou $a I a'$

Fonte: Roy (1996)

## 2.5 Agregação de Preferências

Há diferentes procedimentos que visam agregar um perfil de relações de preferência em uma relação binária. Estas relações de preferência podem ser o resultado de um processo de modelagem de preferência, ser formalmente derivada de performances ou podem ser diretamente indicado pelo tomador de decisão.



Diferentes tipos de funções de agregação são utilizados de acordo com os perfis de agregação que se deseja: perfis de fraca ordem, semi-ordem, relações *fuzzy*, mapeamento de valor real, etc. No entanto, esse estudo se concentrará nos problemas de agregação de relação de preferência binária.

Bouyssou et al (2006) destaca os seguintes métodos de agregação de relação de preferência em uma relação:

- Método de Concorcet ou Maioria Simples;
- O método de Condorcet Ponderado;
- A maioria qualificada; e
- O método lexicográfico.

É importante salientar que outros métodos podem ser encontrados na literatura, porém, o entendimento desses métodos, segundo Bouysoou et al (2006) ajuda a entender alguns métodos de agregação comumente usados no apoio à decisão multicritério.

### 2.5.1 Métodos de Agregação

#### O Método de Condorcet ou Maioria Simples

Bouysoou et al (2006) descrevem o Método de Concorcet da seguinte forma: Seja qualquer par de alternativas ( $a$ ,  $b$ ). Se o número de vezes que  $a$  derrota  $b$  é maior que a quantidade de vezes que  $b$  derrota  $a$ , então  $a$  é globalmente preferível a  $b$ . Se os dois números são iguais, então  $a$  é globalmente indiferente a  $b$ .

Esse método é ilustrado, pelos mesmos autores, através do seguinte exemplo: Seja  $A = \{a, b, c\}$  um conjunto de alternativas,  $N = \{1, 2, 3\}$  um conjunto de decisores e  $p$  contem as seguintes fracas ordens:

1.  $a >_1 c >_1 b$ ,
2.  $c >_2 a >_2 b$ ,
3.  $b >_3 [c \sim_3 a]$ .

A alternativa  $a$  derrota  $b$  duas vezes. Assim,  $a$  é globalmente melhor que  $b$ . A alternativa  $c$  derrota  $a$  uma vez e  $a$  derrota  $c$  também uma vez. Então  $a$  e  $c$  são globalmente indiferentes. A alternativa  $c$  derrota  $b$  duas vezes. Logo  $c$  é globalmente melhor que  $b$ . Dessa forma a seguinte fraca ordem é obtida:  $[a \sim (p) c] > (p) b$ ;

O método de Condorcet é caracterizado no Teorema de May que diz que “Suponha que se deseja agregar perfis de ordem fraca em uma relação binária. Apenas se satisfizer as condições de anonimato, completeza, neutralidade, capacidade de resposta positiva e independência de alternativas irrelevantes é que se tem um Método de Condorcet”(Bouysoou et al, 2006).

O paradoxo da votação ou “Efeito Concorcet” é um problema que ocorre quando há intransitividade. Suponha que em uma comunidade tenhamos 3 votantes e 3 alternativas de ação social. Sendo A, B, C as 3 alternativas e 1, 2 e 3 os 3 indivíduos temos:

- Indivíduo 1:  $A > B$  e  $B > C$ ;
- Indivíduo 2:  $B > C$  e  $C > A$ ;
- Indivíduo 3:  $C > A$  e  $A > B$ ;

Logo, a maioria prefere A a B e B a C. Se a comunidade está pensando racionalmente, então devemos dizer que A é preferível a C. Contudo, pode-se perceber que  $C > A$  é maioria.

Por isto, este método falha em satisfazer as condições de racionalidade indicando uma irracionalidade na decisão coletiva, de acordo com a soma das decisões individuais.

### O Método de Condorcet Ponderado

Esse procedimento é uma generalização do Método de Condorcet clássico. Bouysoou et al (2006) afirmam que para cada critério  $i$  é atribuído um peso  $w_i$  representando sua importância. É definido  $W_{ab}(p, w)$  como a soma dos pesos dos critérios tal que  $a$  é pelo menos tão bom quanto  $b$  ( $a \succeq b$ ) no perfil  $p$ . Esse número pode ser interpretado com a força de coalisão dos critérios de apoio de  $a$  contra  $b$ . Assim,  $a$  será globalmente pelo menos tão bom quanto  $b$  se  $W_{ab}(p, w) \geq W_{ba}(p, w)$ . A preferência global depende agora das preferências de cada critério e também de seus pesos.

Seja o seguinte exemplo: Seja  $A = \{a, b, c\}$  um conjunto de alternativas,  $N = \{1, 2, 3\}$  um conjunto de decisores e  $p$  contem as seguintes fracas ordens:

1.  $a \succ_1 c \succ_1 b$ ,
2.  $c \succ_2 a \succ_2 b$ ,
3.  $b \succ_3 c \succ_3 a$ .

Sejam os pesos de cada critério, respectivamente: 3, 1 e 1. Tem-se que  $W_{ab}(p, w) = 4$  e  $W_{ba}(p, w) = 1$ . Assim,  $a \succ(p, w) b$ . Da mesma forma  $W_{ac}(p, w) = 3$  e  $W_{ca}(p, w) = 2$ . Logo  $a \succ(p, w) c$ .

Finalmente  $W_{cb}(p,w)=4$  e  $W_{bc}(p,w) =1$ , então, assim  $c >_{(p,w)} b$ . O *ranking* final é então:  $a >_{(p,w)} c >_{(p,w)} b$ .

Se todos os pesos forem iguais a 1, o método de Condorcet clássico é obtido.

### Maiorias Absolutas e Qualificadas

A maioria simples é uma operacionalização do conceito de maioria. Assim, Bouysoou et al (2006) afirmam que com a maioria absoluta  $a$  é globalmente preferível a  $b$  se o número de critérios que  $a$  é melhor que  $b$  é maior que  $n/2$ . Se  $a$  não é globalmente preferível a  $b$  e  $b$  não é globalmente preferível a  $a$  então  $a$  e  $b$  são indiferentes. Quando as preferências em todos os critérios são ordenadas sem laços, a maioria absoluta e simples sempre produzem o mesmo resultado. Porém, quando há laços, elas podem produzir resultados diferentes.

Pra ilustrar o método, Bouysoou et al (2006) sugerem o seguinte exemplo: Seja  $A=\{a,b\}$ ,  $N=\{1,2,3,4\}$  e  $p$  contém as seguintes fracas ordens:

1.  $a >_1 b$ ,
2.  $a >_2 b$ ,
3.  $b >_3 a$ ,
4.  $b \sim_4 a$ .

A alternativa  $a$  derrota  $b$  em mais critérios que  $b$  derrota  $a$ . Então  $a >_{(p)} b$  de acordo com a maioria simples. Mas com maioria absoluta,  $a \sim_{(p)} b$  porque o número de critérios que  $a$  é melhor que  $b$  não é maior que  $n/2$  e o número de critérios que  $b$  é melhor que  $a$  é menor que  $n/2$ .

A maioria qualificada é uma generalização da maioria absoluta. Com maioria qualificada,  $a$  é pelo menos tão boa quanto  $b$  se, e somente se, o número de critérios que  $a$  é pelo menos tão boa quanto  $b$ , é pelo menos igual a um limiar de concordância  $\delta$  fixado, entre 0 e  $n$ .

### O Método Lexicográfico

Esse método é considerado simples e trabalha com uma ordem linear (um *ranking* se laços) no conjunto de critérios  $N$ . Essa ordem linear é representada por  $>_1$ . O critério máximo é denotado por  $1^1$ , o segundo por  $2^1$  e assim sucessivamente. Se  $a$  é estritamente melhor que  $b$  no critério  $1^1$ , então  $a$  é declarada globalmente preferível a  $b$  sem mesmo considerar os outros

critérios. Mas se  $a$  e  $b$  são indiferentes no critério  $1^1$ , olha-se o segundo critério. Se  $a$  ou  $b$  é estritamente melhor que o outro no critério  $2^1$  então este é declarado melhor que o outro sem considerar  $3^1$ ,  $4^1$ , ... Se houver indiferença no critério  $2^1$  segue-se ao critério  $3^1$  e assim sucessivamente até quando foi possível estabelecer a diferença ou até se ter considerado todos os critérios. Nesse caso  $a$  e  $b$  são globalmente amarrados (Bouysoou et al, 2006).

O exemplo seguinte é sugerido pelos mesmos autores. Suponha que existam três indivíduos, três candidatos e o perfil  $p$  é:

1.  $a \sim_1 b >_1 c$ ,
2.  $c >_2 b \sim_2 a$ ,
3.  $b >_3 a \sim_3 c$ .

Supondo que  $2 >_1 1 >_1 3$ . Considerando-o para  $a, b$ . Começam com o critério 2 em que  $a$  e  $b$  são indiferentes. Eles são também indiferentes no critério 1. Mas  $b$  é estritamente melhor que  $a$  no critério 3. Assim  $b >_3(p)a$ . Considerando  $c$  e  $b$ . A alternativa  $c$  é estritamente melhor que  $b$  no critério 2. Então  $c >_2(p)b$ . Similarmente,  $c >_2(p)a$ . O resultado final dessas ordem linear é  $c >_2(p)b >_2(p)a$ .

A particularidade do método lexicográfico é a existência da ordem  $>_1$  e o fato que cada critério é totalmente ou infinitamente mais importante que todos os outros critérios abaixo da ordem  $>_1$ . Se  $a$  é melhor que  $b$  no critério  $1^1$ , será globalmente melhor que  $b$ , mesmo que  $b$  seja melhor que  $a$  no décimo ou centésimo critério. Nenhuma compensação é possível.

Ainda de acordo com os mesmo autores, o método lexicográfico deveria ser usado provavelmente em dois casos:

- Quando há boas razões para considerar que um critério é infinitamente mais importante que os outros.
- Quando o custo de construção de uma relação de preferência é alto e se deseja reduzir os custos por meio de um processo de seleção.

### 2.5.2 Teorema de Arrow

Os métodos de agregação de gostos individuais utilizando-se do comportamento racional tradicionalmente se identificam com a maximização, então se tem o problema de obter um máximo social a partir de desejos individuais. Busca-se com isso a melhora individual sem prejuízo para outras pessoas.

Arrow (1950) analisa a consistência de decisões a partir de métodos coletivos de escolha, em que o desejo de muitas pessoas está envolvido. Assim ele constrói um

procedimento metodológico, em que o conjunto de gostos individuais conhecidos são utilizados para a definição de um padrão de tomada de decisão social, sendo necessário satisfazer certas condições naturais.

O Teorema proposto é conhecido com Teorema da impossibilidade Arrow, pois, se prova que nenhum sistema de votação baseado em preferências ordenadas pode satisfazer simultaneamente as 5 seguintes condições:

1. A função de bem estar social é definida por todo par ordenado admissível de indivíduos;
2. Dado que uma alternativa  $x$  cresce ou se mantém na mesma posição e que  $x$  é preferível a  $y$ , então temos que  $x$  continua a ser preferível a  $y$ ;
3. Caso haja a inclusão ou exclusão de alternativas a ordem do conjunto já existente não pode ser alterada;
4. A função não é imposta;
5. A função não pode ser definida de forma ditatorial.

### 2.5.3 Método de Copeland

O Método de Copeland é um método binário de votação, onde se usa o resultado de todas as comparações par a par como entrada. Para cada alternativa determina-se um número ou o *score* para a alternativa. A alternativa com maior *score* é a vencedora. O método é então baseado em função *scoring*. O *score* da alternativa  $x_j$  é determinado pegando os números de alternativas que  $x_j$  derrota e subtraindo pelo número de alternativas que  $x_j$  é derrotada.

O *score* Copeland de  $x_j$  em relação ao conjunto de alternativas  $X$  e a configuração de preferências  $P = \{P_1, \dots, P_n\}$  é definido como:

$$s(x_j, X, P) = |\{y \in X \mid x_j M y\}| - |\{y \in X \mid y M x_j\}|,$$

Onde  $x_j M y$  ( $y M x_j$ , respectivamente) significa que a maioria dos eleitores preferem  $x_j(y)$  que  $y(x_j)$ . A função de escolha Copeland, por sua vez, pode ser expressa da seguinte forma:

$$F(X, P) = \{x \in X \mid s(x, X, P) \geq s(y, X, P), \forall y \in X\}.$$

O método de Copeland escolhe o ganhador de Condorcet quando existe, porque neste caso há uma alternativa cujo *score* de Copeland é  $k-1$ , isto é, tem  $k-1$  vitórias em comparações par a par e nenhuma perda. Esse é o maior *score* de Copeland que uma alternativa pode obter quando  $|X|=k$  (Nurmi, 1983).

#### 2.5.4 O procedimento de Simos

No contexto de apoio à decisão, conhecer as preferências do decisor e determinar os pesos dos critérios são questões muito difíceis. Vários métodos podem ser utilizados para dar peso aos critérios.

Para isso, J. Simos propôs um procedimento, utilizando um conjunto de cartões, permitindo determinar indiretamente valores numéricos para os pesos. A técnica auxilia o decisor a expressar a maneira pela qual ele pretende hierarquizar os diferentes critérios de uma determinada família de critérios  $F$  em um determinado contexto.

No entanto, Figueira & Roy (2002) afirmam que a forma que o procedimento processa a informação merece revisão por dois motivos:

1. É baseado em uma suposição irrealista. Isso ocorre pela falta de uma informação essencial;
2. Leva a processar critérios tendo a mesma importância (peso) de uma forma não robusta.

#### **O procedimento de Simos**

O Procedimento de Simos é utilizado em contextos onde é necessário se trabalhar com vários conjuntos de pesos. Esse procedimento consiste em associar um cartão a cada critério. Esse procedimento é descrito por Figueira & Roy (2002) que apresentam a técnica para coletar informações dividida em três partes:

1. É dado ao decisor um conjunto de cartões com os nomes dos critérios, sendo  $n$  cartões, referentes a  $n$  critérios de uma família  $F$ . É dado também um conjunto de cartões em branco do mesmo tamanho.
2. O decisor é levado a ordenar esses cartões, do menos importante, até o mais importante, de acordo com a importância que ele atribui a cada critério. Se alguns critérios tem a mesma importância, deve-se construir um subconjunto de cartões, mantendo-os juntos. Dessa forma, é obtida uma pré-ordem completa dos critérios.
3. É pedido que o usuário pense na importância de dois critérios sucessivos. A determinação dos pesos leva em conta essa diferença na importância de critérios sucessivos. Dessa forma, é pedido que se introduza cartões brancos entre os critérios. Quanto maior a quantidade de cartões, maior a diferença entre os pesos

dos critérios. Se não há nenhum cartão branco entre os critérios, significa que a diferença de peso entre eles tem uma unidade de medição  $u$  de diferença. Se houverem dois cartões, a diferença de importância entre os dois critérios é duas vezes  $u$ .

Essas informações colhidas servirão de base para a atribuição de valores numéricos aos critérios, seguindo o seguinte algoritmo:

1. Ordenar os conjuntos do pior ao melhor, de acordo com os cartões brancos;
2. Atribuir um peso para cada critério e cada cartão branco. O cartão menos qualificado recebe peso 1, a posição próxima 2, e assim por diante;
3. Determinar o peso não-normalizado (chamados de peso médio por Simos) de cada classificação, dividindo a soma das posições deste *ranking* pelo número total de critérios pertencentes a esta classificação.
4. Determinar o peso normalizado (chamado peso relativo por Simos) de cada critério através da divisão do peso não-normalizado do *ranking* pela soma total das posições dos critérios (sem levar em conta os cartões brancos). Os pesos normalizados são escritos sem casas decimais. A técnica consiste em arredondamento para o maior ou menor valor inteiro mais próximo.

O procedimento recomendado para converter a ordenação em pesos limita o conjunto dos pesos viável, determina automaticamente a relação entre o peso do critério mais importante e o peso do menos importante no *ranking*. Se não houver cartões nas fileiras primeira e última, a proporção é igual ao número total de cartões,  $T$ . Mas, se temos um subconjunto com critérios  $q$  mais importantes e um subconjunto com, pelo menos  $p$  critérios menos importantes no *ranking*, obtemos a seguinte proporção:

( 2.1)

$$z = \frac{(\sum_{i=0}^{q-1}(t-i))p}{(\sum_{i=0}^{p-1}(p-i))q}$$

### Método Revisado

Figueira & Roy (2002) propõe uma revisão no Procedimento de Simos, com base nos dois motivos já expressos. A versão revista do Procedimento Simos leva em conta um novo tipo de informações adicionais do tomador de decisão e determinadas mudanças de regras de

computação do método anterior. O novo tipo de informação adicional diz respeito à relação entre os pesos do critério mais importante e o menos importante no *ranking*.

O procedimento de coleta de dados não sofre modificação, já que o procedimento é considerado simples e rápido e logo, bem adequado a contextos de decisão com múltiplos decisores.

Nesse novo procedimento é acrescentada a informação de quantas vezes o último critério é mais importante que o primeiro no *ranking*. Seja  $z$  o valor dessa relação. Esta proporção não é, geralmente, muito bem definida do ponto de vista do usuário. Então, é muito importante analisar, de uma forma fácil, o efeito sobre a saída das mudanças na  $z$ .

O novo algoritmo deve atribuir um valor numérico para os pesos de cada critério  $g_i$  para  $i=1, \dots, n$ . Deve determinar sucessivamente:

- O peso não-normalizado  $k(1), \dots, k(r), \dots, k(\bar{n})$  associado a cada subconjunto, sendo por convenção  $k(1) = 1$  (ou seja, atribuindo 1 ao critério, ou subconjunto de critérios, menos importante).
- Os pesos normalizados exigem outra convenção (geralmente, mais inteligível e favoráveis às comparações):  $\sum_{i=1}^n k_i = 100$ ;  $k_i$  indica o peso normalizado de cada critério  $g_i$  para  $i=1, \dots, n$ .

Para determinar o peso não-normalizado  $k(r)$ , considera-se que  $e'_r$  o número de cartões brancos entre  $r$  e  $r+1$ . É estabelecido:

( 2.2)

$$\begin{cases} e_r = e'_r + 1 \quad \forall r = 1, \dots, \bar{n} - 1 \\ e = \sum_{r=1}^{\bar{n}-1} e_r \\ u = \frac{z - 1}{e} \end{cases}$$

Obtém-se que  $k(r) = 1 + u(e_0 + \dots + e_{r-1})$  com  $e_0 = 0$ .

Para determinar o peso normalizado  $k_i$  determina-se  $g_i$  como o critério de classificação  $r$  e  $k'_i$  o peso deste critério na sua expressão não normalizada  $k'_i = k(r)$ . Assim.



( 2.3)

$$\begin{cases} k' = \sum_{i=1}^m k'_i \\ k^*_i = \frac{100}{k'} k'_i \end{cases}$$

No Procedimento de Simos os arredondamentos são realizados para o maior ou menor valor inteiro mais próximo. No entanto, esse método de arredondamento gera um inconveniente em que a soma dos pesos normalizados podem ser diferentes de 100, e o Procedimento pode não ser bem aceito pelo decisor. O procedimento revisador propõe medidas para resolver esse inconveniente.

A informação de que o conjunto de cartões tem que coletar e transmitir é, por um lado, com base no *ranking* (igualdade, ordem,) dos pesos e, por outro lado, na relação das diferenças entre os pesos consecutivos. Essas diferenças devem ser proporcionais ao número de intervalos que separam estes dois subconjuntos de cartas consecutivas (os subconjuntos são geralmente reduzidas a um cartão). Os números  $k(r)$  obviamente refletem exatamente a pré-ordem materializada pelo conjunto de cartas, assim:

( 2.4)

$$\frac{k(r+1) - k(r)}{k(s+1) - k(s)} = \frac{e_r}{e_s}$$

Onde  $e_r$  ( e respectivamente  $e_s$ ) é o número de intervalos que separam o subconjunto de cartões pertencentes a fileira  $r+1$  e  $r$  ( $s+1$  e  $s$ , respectivamente).

As fórmulas asseguram a conformidade do resultado e da coleta de informações sobre a razão  $z$ , dado que:

( 2.5)

$$k(\bar{n}) = 1 + u(e_0 + e_1 + \dots + e_{n-1}) = 1 + eu = z = zk(1)$$

O método revisado leva a pesos normalizados, cuja soma é exatamente 100. O critério que este procedimento tenciona otimizar traz em ação a sequência de deformações produzidas pelo arredondamento por excesso ou por déficit. A solução preconizada não só minimiza a maior destas deformações, mas também o segundo maior e assim por diante, de uma forma lexicográfica.

### **3 PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA CAPACIDADE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Nesse capítulo, serão introduzidos os conceitos sobre sistemas de abastecimento de água. É realizado um apanhado sobre a evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil, a definição de sistemas públicos de abastecimento, bem como a descrição das unidades que a compõe e de sistemas integrados.

Atenção especial será dada o processo de expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento, como forma de expor os principais aspectos desse processo.

#### **3.1 Abastecimento de Água**

A água constitui um elemento essencial à vida animal e vegetal. Seu papel no desenvolvimento da civilização é reconhecido desde a mais alta antiguidade. O homem tem necessidade de água na qualidade adequada e em quantidade suficiente para todas as suas necessidades, não só para proteção da saúde, como também para o seu desenvolvimento econômico (Oliveira, 1976).

O Ministério da Saúde (1981) destacou a importância do abastecimento de água sob dois aspectos: sanitário e econômico.

Sob o aspecto sanitário, o abastecimento de água visa, fundamentalmente a:

- Controlar e prevenir doenças;
- Implantar hábitos higiênicos na população;
- Facilitar a limpeza pública;
- Facilitar as práticas desportivas;
- Proporcionar conforto e bem estar.

Sob o aspecto econômico, o abastecimento visa:

- Aumentar a vida média pela diminuição da mortalidade;
- Aumentar a vida produtiva do indivíduo, que pelo aumento da vida média, quer pela diminuição do tempo perdido com doenças;
- Facilitar a instalação de indústrias, inclusive a de turismo, e conseqüentemente ao maior progresso das comunidades;
- Facilitar o combate aos incêndios.

Quando a comunidade cresce e a densidade demográfica da área aumenta, a solução mais econômica e definitiva para o seu abastecimento de água é uma solução coletiva, que se denomina Sistema de Abastecimento de Água (Ministério da Saúde, 1981).

Netto et al (1973) afirmam que o objetivo de um sistema normal de abastecimento de água de uma comunidade é fornecer água que, em quantidade e qualidade, seja conveniente a todos os usos a que se presta, de modo que a população inteira, indistintamente, dela se beneficie, recebendo-a junto ao domicílio com o mínimo dispêndio possível.

Um serviço de abastecimento tem início no manancial que assegura a provisão de água. De suas características, regimes e localização depende a maior ou menor complexidade do sistema. A análise das informações hidrológicas, topográficas, geológicas e outra de fisiografia regional colhidas em um diligente levantamento prévio, combinados com os dados obtidos para a demanda ou consumo, apontará, dentro os recursos hídricos naturais cotejados, o mais adequado conciliando os aspectos qualitativos e quantitativos com os aspectos hidrotécnico, sanitário e econômico (Netto et al, 1973).

O contexto da evolução dos serviços de abastecimento é descrito por Netto et al (1973) e resumidos da seguinte forma:

Em todas as eras da história da civilização buscou-se um meio de colocar ao fácil alcance dos habitantes das cidades a água que careciam.

Ruínas das obras hidráulicas remotas são objeto de curiosidade técnica e turística. Restam as da antiga babilônia, em cujos jardins suspensos jorravam fontes com água trazida do rio Eufrates por máquinas elevatórias. No Egito, as águas do Nilo eram desviadas, para o uso do homem e irrigação, por muitos canais. Há reminiscências de aquedutos, túneis e cisternas para o abastecimento de água, anteriores à era cristã na região de Jerusalém, alguns atribuídos ao rei Salomão. Atenas, servindo-se o barro cozido e do chumbo, possuía cerca de 20 aquedutos alimentando inúmeras fontes públicas, e uma legislação sobre o seu uso. Em cidades milenares como China e Índia há vestígios de obras antiquíssimas de condução de água para o consumo público. Foram, entretanto, os romanos, os que afrontaram com mais decisão e eficiência os problemas de suprimento de água, não só em suas próprias cidades, mas também nas cidades conquistadas.

Por mais de um milênio após a decadência do Império Romano, até o término da Renascença, não se verificou nenhum progresso digno de nota nos serviços hidráulico-sanitário. Tomaram novo e crescente impulso a partir dos séculos XVII e XVIII, quando foram lançados os princípios fundamentais da hidráulica moderna por Torricelli, Pascal e

Bernoulli. Concomitantemente, começaram a ser utilizados nas canalizações tubos capazes de suportar grandes pressões internas, de ferro fundido e aço, antes desconhecidos.

Após o desenvolvimento e aplicação do conhecimento teórico da Engenharia Hidráulica, restava tão somente o encontro de uma solução satisfatória para o aproveitamento dos recursos naturais próximos ou não muito distantes, quantitativamente vantajoso, porém suspeitos, poluídos ou contaminados. Igualmente, esse percalço pode ser removido com a descoberta de métodos e a introdução de processos de depuração ou potabilização, de aplicação relativamente simples e econômica, que vieram a firmar, na segunda metade do século XIX, as bases da engenharia hidráulico- sanitária.

O desenvolvimento dos serviços hidráulico- sanitários urbanos no Brasil acompanhou a evolução internacional. Iniciou-se, sendo muito poucas as capitais das então províncias do Império e raríssimas outras cidades com instalações em pleno desenvolvimento antes do advento da república.

### **3.2 Planejamento em gestão de recursos hídricos**

As possibilidades de uso da água são diversas, o que resulta em uma série de conflitos. Embora sejam renováveis, os recursos hídricos são finitos e escassos. Diante disso, percebe-se a importância do planejamento na gestão de recursos hídricos como forma de garantir a manutenção da qualidade e disponibilidade da água.

A primeira legislação sobre o uso das águas no Brasil ocorreu pelo Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, o Código das Águas, cuja execução competia ao Ministério da Agricultura.

Em 1989 foi sancionada a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, que institui a compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo, gás natural, de recursos hídricos para fim de geração de energia elétrica de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências. E a Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990 definiu os percentuais da compensação financeira.

Esse decreto vigorou até 1997 quando a Lei nº 9.443, de 8 de janeiro de 1997, foi sancionada e instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e modificou a lei de compensação financeira de 1990.

Em 2000 foi criada a Agência Nacional das Águas – ANA, entidade nacional de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos pela Lei n 9.984, de 17 de julho de 2000.

Segundo essa Lei, a ANA deve promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos d'água, de alocação e distribuição de água e de controle de poluição hídrica. Essas atribuições são enquadradas em Planejamento de Recursos Hídricos. A área de Planejamento constitui uma das Diretorias Colegiadas da ANA e o Planejamento de Recursos Hídricos uma das Divisões (ANA, 2011).

Os planos de recursos hídricos são instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos que vêm sendo desenvolvidos pela ANA. Eles funcionam como planos diretores de longo prazo, que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento da água, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos (ANA, 2011).

A execução de serviços de água e esgoto por empresas estaduais foi implementada pela PLANASA em razão da economia de escala. No entanto, a Constituição estabeleceu a titularidade dos serviços aos municípios. As empresas estaduais prestam serviços de abastecimento de água à cerca de 82% da população atendida (Montenegro & Tucci, 2005).

### **3.3 Sistemas Públicos de Abastecimento**

Um SAA – Sistema de Abastecimento de Água, caracteriza-se pela retirada de água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte até os aglomerados humanos e fornecimento às populações em quantidade compatível com suas necessidades. Um SAA é definido pelo conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (FUNASA, 2004).

A importância dos SAAs se destaca por tornar disponível a água ao homem, com condições de proteção a sua saúde, como também para seu desenvolvimento econômico. A importância sanitária do abastecimento é das mais ponderáveis, pois resulta em melhoria da saúde e nas condições de vida de uma comunidade. Reflete-se também, no estabelecimento de meios que importam em melhoria do conforto e segurança coletiva. A influência da água, no

ponto de vista econômico, faz-se sentir mais diretamente no desenvolvimento industrial, por constituir, ou matéria-prima em muitas indústrias, ou meio de operações (Oliveira et al, 1976).

Os Sistemas de Abastecimento de Água devem ser projetados, construídos e operados para fornecer água potável, em quantidade suficiente, a qualquer instante e sob pressão adequada, nos diversos pontos de consumo da comunidade a que servem. Para isso, um SAA é constituído por unidades de:

- **Captação:** tem por finalidade criar condições para que água seja retirada do manancial em quantidade capaz de atender o consumo. Para os mananciais de superfície, as características são ditadas pelo porte e conformação do leito, associados à topografia e geologias locais, como pela velocidade, qualidade e variação do nível de água. Na maioria dos casos são empregados a captação direta, a barragem de nível, o canal de regularização, o canal de derivação, a torre de tomada, o poço de derivação e o reservatório de regularização. Para captação de águas subterrâneas, utilizam-se caixas de proteção, galerias filtrantes, drenos, poços escavados e poços perfurados;
- **Adução:** destina-se a conduzir a água desde a captação até a comunidade abastecida. Quando necessário tratamento, a adução passa a ser integrada pela adutora de água bruta e pela adutora de água tratada;
- **Tratamento:** visa a eliminação de certas impurezas e/ou à correção de algumas impropriedades que a tornam inadequadas para determinado fim;
- **Reservação:** tem por finalidade armazenar tanto o excesso de água, nas horas em que a quantidade consumida é menor que a aduzida, como a água destinada a combater incêndio ou a que vai garantir o suprimento nos períodos em que a adução for anormalmente interrompida.
- **Distribuição:** a rede de água, ou rede de distribuição, destina-se a conduzir a água, através de tubulações, para os diversos pontos de consumo da comunidade (Dacach, 1975).

### **3.4 Expansão da Capacidade**

A falta de um sistema de distribuição de água adequado se deve tanto a deterioração de sistemas de abastecimento em áreas urbanas mais antigas, quando pela não existência de sistemas em muitas áreas que cresceram rapidamente. Em outras palavras, métodos de

avaliação dos serviços urbanos de abastecimento de água precisam considerar não apenas a reabilitação dos sistemas já existentes, mas também o futuro desenvolvimento de novos sistemas de distribuição de água para servir a expansão dos centros populacionais (Mays, 2000).

O tamanho e complexidade de um sistema de abastecimento varia dramaticamente, mas todos tem o mesmo propósito básico: entregar água da fonte ao consumidor (Walski et al, 2001).

Algumas tendências têm aumentado a pressão para a melhoria da gestão dos Recursos Hídricos.

A ONU, 2003 destaca cinco fatores que afetarão o uso da água doce:

- Crescimento populacional: projeções indicam que a população chegará a 8 bilhões em 2030, se estabilizando em 9 bilhões em 2050.
- Crescente Riqueza: A taxa de diminuição de pobreza vem diminuindo e consequentemente o consumo de água é maior.
- Expansão da atividade econômica: As atividades econômicas, desde a industrialização até serviço demandam mais serviços de água e saneamento.
- Rápida Urbanização: Essa é uma tendência em rápida aceleração. A urbanização requer investimentos significativos em infra-estrutura hídrica para o abastecimento e esgotamento de águas residuais.
- Mudanças climáticas: Mudanças climáticas, a despeito das incertezas que a cercam, representam vários riscos à disponibilidade de água e aos sistemas de gestão de recursos hídricos.

A expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento demanda grandes investimentos em infra-estrutura. Os projetos de expansão devem contemplar diversos aspectos e interesses, muitas vezes conflitantes.

Os serviços hídricos urbanos precisam ser sustentáveis. As receitas, adquiridas pelos fundos públicos e as taxas pagas pelos usuários, devem se igualar às despesas, caso contrário, os serviços hídricos se deterioram e não serão sustentáveis.

Manancial é a fonte onde se retira a água. No caso da existência de mais de um manancial, a escolha é feita levando-se em conta não só a quantidade e qualidade da água mas, também, o aspecto econômico. Nem sempre o que custa inicialmente menos é o que convém, já que o custo inicial maior, pode implicar em custo de operação e manutenção

menor. Na sua escolha, deve-se levar em consideração a qualidade da água, o consumo atual provável, a previsão de crescimento da comunidade e a capacidade ou não do manancial satisfazer este consumo. Todo e qualquer sistema é projetado para servir, por certo espaço de tempo denominado período de projeto (Ministério da Saúde, 1981).

A escolha do manancial constitui decisão de maior importância e responsabilidade em um projeto de abastecimento. Para assegurar-se do acerto da escolha, o projetista deve levantar as alterações possíveis, estudando-as e comparando-as técnica e economicamente. Os mananciais próximos, mais caudalosos, capazes de atender à demanda por tempo maior e os mananciais com água de maior qualidade e menos sujeitos a poluição apresentam condições ponderáveis no cotejo de soluções (Netto, 1987).

Castro e Barros (1995) afirmam que na elaboração de projetos de captação de águas superficiais, várias características quantitativas e qualitativas dos cursos d'água devem ser avaliadas. Algumas das mais importantes são:

- Levantamento de dados hidrológicos da bacia em estudo ou de bacias próximas;
- Levantamento de dados fluviométricos do curso d'água em estudo e informações sobre as oscilações de nível de água nos períodos de estiagem e enchente;
- Características físicas, químicas e bacteriológicas da água;
- Localização, na bacia, de focos poluidores atuais e potenciais.

Sobre a elaboração de projetos de abastecimento de água Yassuda et al (1976) destacam as seguintes informações:

A elaboração de um projeto de abastecimento de água exige o conhecimento das vazões de dimensionamento das diversas partes constitutivas do sistema. Por sua vez, a determinação dessas vazões implica no conhecimento da demanda de água na cidade, que é função do número de habitantes a ser abastecido e da quantidade de água necessária a cada indivíduo.

Os problemas de dimensionamento das canalizações, estruturas e equipamentos, implicam em estudos diversos, que incluem a verificação do consumo médio por pessoa, a estimativa do número de habitantes a ser beneficiado e as variações de demanda, que ocorrem por vários motivos, tais como: clima; hábitos e nível de vida da população; natureza da cidade; tamanho da cidade; medição do consumo; pressão na rede (Yassuda et al, 1976).

Ainda segundo os mesmos autores, o projeto de um sistema de abastecimento de água, para uma cidade comum deve levar em consideração a demanda que se verificará numa determinada época em razão de sua população futura. Admitindo ser esta última variável crescente, é fundamental fixar a época até a qual o sistema poderá funcionar satisfatoriamente,



sem sobrecarga nas instalações ou deficiências na distribuição. O tempo que decorre até atingir essa época define o período do projeto. O período de projeto pode estar relacionado à durabilidade ou vida útil das obras e equipamentos, ao período de amortização do capital investido na construção, dentre outras. Os problemas relativos às dificuldades de ampliação de determinadas estruturas ou partes do sistema, como também o custo do capital a ser investido e o ritmo de crescimento das populações são aspectos a serem igualmente considerados.

Sobre projetos de sistemas de abastecimento de água, Gomes (2004) colabora destacando as seguintes questões:

A necessidade de água requerida ao sistema de abastecimento corresponde a demanda de consumo (incluindo perdas) para os múltiplos usos, quantificados ao longo do alcance do projeto. Essa necessidade dependerá da estimativa do consumo per capita da população, dos consumos industriais, de combate a incêndios e de serviços públicos, levando-se em consideração o aumento da população durante o período de alcance do projeto, e das perdas físicas de água do sistema de distribuição. Para determinação da quantidade de água requerida ao sistema, em termos de vazão demandada, é necessário o estudo dos seguintes aspectos::

- Alcance do projeto;
- Previsões de população;
- Estimativa de consumos;
- Estimativas de perdas;
- Variação de consumo.

O alcance do projeto corresponde ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, tanto equipamentos como obras civis. No Brasil, os sistemas de abastecimento de água, desde a captação até as ligações prediais têm sido projetados com alcances que variam de 10 a 30 anos, dependendo de vários fatores tais como:

- a) Tendência de crescimento da população e das necessidades urbanas, levando-se em conta o desenvolvimento da região. Quanto mais rápido for o crescimento da população, menor deverá ser o alcance do plano.
- b) Vida útil dos equipamentos e das obras civis. Quanto maior a vida útil das estruturas físicas, maior o alcance do projeto.
- c) Facilidade de ampliação das obras físicas. Quanto maior a facilidade de ampliação menor o alcance do projeto.

- d) Disponibilidade financeira. Maior disponibilidade maior alcance.
- e) Taxas de juro e de aumento da inflação. Maiores taxas, menor alcance do plano.
- f) Recursos financeiros da população atendida. Maiores recursos, maior alcance.

A previsão da população a ser atendida pelo sistema de abastecimento deve levar em conta a evolução dessa população ao longo do alcance do projeto. A previsão da evolução da população de uma localidade depende de vários fatores, que por sua vez dependem de aspectos econômicos, sociais e políticos, o que torna a previsão relativamente complexa. De forma geral, os métodos empregados para a distribuição de crescimento populacional de um determinado núcleo urbano são fundamentados em dados estatísticos anteriores a época da elaboração do projeto. Estabelece-se uma função ou modelo matemático que se ajusta à variação da população ao longo dos anos de registro de dados e estima-se a população futura para o horizonte de alcance do plano.

O consumo de água por parte de uma população, de acordo com Gomes (2004), varia de região para região, de cidade para cidade e dentro de uma mesma cidade pode variar muito de um setor para outro. Os principais fatores que influenciam na quantidade de água a ser distribuída por pessoa ou por dia são:

- a) Clima;
- b) Padrão de vida;
- c) Hábitos da população;
- d) Sistema de fornecimento (com ou sem hidrômetros);
- e) Qualidade da água fornecida;
- f) Custo da água;
- g) Pressão na rede de abastecimento;
- h) Extensão do serviço de esgoto;
- i) Extensão das áreas pavimentadas;
- j) Extensão das áreas ajardinadas;
- k) Continuidade do serviço;
- l) Usos comerciais;
- m) Usos industriais;
- n) Usos públicos;
- o) Frequência de incêndios;
- p) Perdas no sistema;
- q) Outros fatores.

A água conduzida para uma comunidade enquadra-se numa das seguintes classes de consumo ou de destino:

- a) Doméstico;
- b) Comercial ou industrial;
- c) Público;
- d) Perdas.

Ainda segundo o mesmo autor, o consumo per capita é a quantidade de água usada por dia, em média, por um habitante, normalmente expresso em litros/habitante/dia. Em cidades servidas por sistemas de abastecimento, o consumo per capita é obtido dividindo-se a quantidade de água aduzida durante o ano por 365 e pelo número total de habitantes ou de pessoas abastecidas. O consumo per capita médio inclui a parcela representada pelas perdas.

Os fatores que afetam o consumo de água nas comunidades são de ordem geral e específicos. Dentro das de ordem geral, destacam-se o tamanho das cidades, suas características, tipo e quantidade de indústrias, hábitos higiênicos e destino dos dejetos. Quanto aos específicos, pode-se destacar a modalidade e a qualidade do suprimento, o custo da água, a pressão na rede e o controle do próprio consumo.

A quantidade de água consumida em uma rede pública de abastecimento varia continuamente ao longo do dia ou ao longo do ano, sob a influência das atividades e dos hábitos da população, condições de clima, etc. Em termos de quantificação da demanda de água para o projeto de um sistema de abastecimento, duas variações de consumo devem ser levadas em conta: a variação estacional (ao longo do ano) e a horária (ao longo do dia). Sendo assim, a quantificação da demanda de projeto deve considerar essas variações, pois o projeto deve ser dimensionado para a condição mais desfavorável, ou seja, de máxima demanda.

Nos sistemas urbanos de abastecimento as demandas de água variam espacialmente dentro da cidade ou comunidade a ser atendida. A classe social e a densidade demográfica de uma zona ou bairro influenciará na vazão requerida pelo abastecimento do setor. Na quantificação das demandas, a serem repartidas nos vários pontos de distribuição das redes a serem projetadas, deve ser levado em consideração o consumo diferenciado por área de influência do sistema. Este consumo por área de influência será utilizado na quantificação das demandas de projeto dos setores que serão abastecidos pelos pontos ou nós de distribuição das redes de abastecimento (Gomes, 2004).

Quando se pretende os custos de um projeto de um sistema de abastecimento de água, seja para zonas urbanas, rurais, de irrigação, ou qualquer outro tipo de abastecimento, deve-se

computar os custos fixos de investimento e os gastos variáveis de operação e manutenção, que incidem ao longo do alcance do projeto.

Os custos fixos ou de investimento dizem respeito à aquisição dos equipamentos das instalações hidráulicas (tubulações, válvulas, equipamentos eletro-mecânicos, peças de conexão, etc), juntamente com os gastos de implementação do sistema que correspondem às obras civis de escavação e montagem de equipamentos.

Os custos variáveis incidem ao longo da vida útil do projeto, dizem respeito aos gastos de exploração, que compreendem as despesas de operação e manutenção das instalações. As despesas de manutenção correspondem àquelas concernentes à conservação das instalações, reparação de avarias nas conduções, nas peças especiais de controle, reposição de equipamentos, etc. As despesas com operação nos projetos abastecimentos com sistemas de bombeamento são, de maneira predominante, relativas aos gastos de energia das estações elevatórias (Gomes, 2004).

### **3.5 Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos**

Os modelos de decisão Multicritério e de Decisão em Grupo tem apresentado extensas aplicações, incluindo no apoio ao processo de decisão na gestão de recursos hídricos tratando de diversas problemáticas, tais como redução de perdas, recuperação de bacias, planejamento de redes de distribuição, dentre outras. Exemplos dessas aplicações foram os trabalhos:

Morais & Almeida (2011) apresentam uma proposta de decisão em grupo em recursos hídricos focada em uma decisão de grupo processo de tomada com base na análise dos rankings individuais com o objetivo de escolher uma alternativa adequada para o problema de recursos hídricos, encontrando assim a alternativa para ser o melhor compromisso dos pontos de vista de todos os atores envolvidos no problema de decisão.

Morais & Almeida (2006) apresentam uma abordagem multicritério fundamentada no emprego do Método PROMÉTHÉE, sendo proposto um modelo para tomada de decisão em grupo. Através de um experimento ilustrativo, busca-se investigar o emprego desta abordagem. Assim, os responsáveis por este setor terão uma nova postura frente ao processo decisório, em relação à ação a ser desenvolvida, para uma melhor eficiência operacional e manutenção do sistema, administrando perdas.

Outros trabalhos desenvolvidos tratando do processo de apoio a decisão em grupo são descritos a seguir.

Xu & Wu (2011) apresentam um modelo discreto para apoiar o processo de consenso para alcançar Tomada de Decisão em Grupo Multi-atributo (multiple attribute group decision making – MAGDM). O resultado do modelo é a escolha da melhor alternativa a partir da matriz de decisão em grupo, obtido pelo método aditivo simples ponderado.

Matsatsinis et al (2005) combinam dois métodos multicritério, baseado na noção de agregação de preferências, a fim de construir uma metodologia de busca de consenso para a tomada de decisão coletiva. Assim, com a aplicação do método UTASTAR, uma ordenação das alternativas é construída de acordo com as preferências dos decisores. A escolha desse método justifica-se pela capacidade de permitir que cada decisor analise o seu comportamento e estilo cognitivo de acordo com o quadro geral de desagregação das preferências.

Jingle et al (2007) apresentam um trabalho propondo um método de procedimentos de argumentação para estruturação da tarefa de decisão do grupo em um ambiente interativo. Além disso, a implementação da método em um sistema web-based de apoio de argumentação do grupo é explicada. A tarefa de decisão em grupo é utilizado para determinar o objetivo de crescimento da produção em geral (PIB) da China ao longo dos próximos cinco anos. O resultado dessa aplicação é a confirmação que o método pode apoiar uma decisão de grupo na tarefa de estruturação da decisão.

Lu & Yang (2010) abordam o ciclo e o fluxo de decisão no processo de interações complexas e propõe um modelo geral e um modelo estrutural de interações de processo de tomada de decisão, e fizeram um estudo sobre eles.

Hatami-Marbini &Tavana (2010) que propõe em seu estudo uma extensão do método ELECTRE I para decisão em grupo, em um ambiente fuzzy. A contribuição, segundo os autores foi (1)preencher a lacuna na literatura sobre o método ELECTRE para problemas envolvendo sistemas de critérios conflitantes, incerteza e informações imprecisas, (2) estender o método ELECTRE I para levar em conta as incertezas, as avaliações imprecisas e linguísticas; (3) definir as relações *outranking* por comparação par a par e o uso de gráficos decisão para determinar qual a ação é preferível, incomparável ou indiferente no ambiente *fuzzy*; e (4) mostrar que, contrariamente aos *rankings* TOPSIS, a abordagem ELECTRE revela informações mais úteis incluindo a incomparabilidade entre as ações.

Shen & Zhao (2007) propõem um novo método de planejamento para melhorar a eficiência da tomada de decisão em grupo, com base na cadeia de Markov Katrina, para ilustrar a utilidade e a eficácia da abordagem proposta. A abordagem é mais rápida que o processo convencional, em termos de dois pontos. (1) Minimiza as intervenções humanas e

faz o máximo de suporte de sistema de computador para acelerar as interações entre o decisor e o sistema. (2) pesquisa sobre o padrão importante escondido no processo de tomada de decisão em grupo, prevê a decisão possível no futuro e, assim, acelera ainda mais o processo de tomada de decisão. Os autores esperam que a análise do processo dinâmico de ajuste de tomador de decisão a preferência vai ajudar os pesquisadores não só na melhor compreensão do processo de tomada de decisão do grupo, mas também na melhor concepção do Grupo de Sistemas de Suporte à Decisão para situações de emergência.

Schmoldt & Peterson (2000) apresentam uma abordagem eficaz para grupos formais temporários, (por exemplo, *workshops*). Os três componentes seguintes são combinados: (1) *brainstorming* para gerar ideias, (2) o processo de hierarquia analítica de produzir juízos, gerenciar conflitos, permitir consenso, planejamento e de execução; e (3) modelo de uma discussão. O resultado são avaliações numéricas de prioridades de decisão alternativa que podem ser analisados estatisticamente para indicar onde ocorre o acordo de membros do grupo e onde os valores de prioridade são significativamente diferentes. Essa abordagem pode ajudar a facilitar avaliações científica e outros processos de decisão na gestão dos recursos.

## 4 **MODELO PARA DECISÃO EM GRUPO**

Decisões envolvendo políticas públicas são complexas, pois envolvem grandes quantidades de recursos e impactam sobre vários indivíduos. Dessa forma, o planejamento dessas políticas deve envolver vários *stakeholders* e a comunicação entre eles deve se dar de forma a extrair os diferentes pontos de vista, normalmente conflitantes, entre os indivíduos ou grupos pra que se chegue a melhor solução.

A expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento requer esse tipo de planejamento, pois se trata de decisões com alto grau de impacto social e ambiental e demanda grandes investimentos.

O processo de planejamento e os planos representam instrumentos de negociação com os atores/protagonistas sociais, tanto na elaboração quanto com o plano concluído, bem como de aglutinação política dos atores, na medida em que pode expressar, de forma técnica e organizada, o conjunto das decisões e compromissos sociais. Além disso, o planejamento e os planos construídos de forma participativa conferem transparência às alternativas escolhidas e às decisões tomadas pela sociedade, explicitando os objetivos e as prioridades (Moraes, 2009).

Nesse contexto, se destaca a importância da utilização de modelos de decisão em grupo, pois, segundo Macharis et al (1998), são uteis por apoiar os atores envolvidos no processo de busca da melhor alternativa. Esses modelos consideram a existência de conflitos entre os atores e propõe a mediação desse processo.

As utilizações de tais modelos possibilitam a melhoria da comunicação entre os interessados, organizam e sintetizam informações de forma que o conhecimento do problema e o escopo da decisão sejam expressos e compreendidos por todos, dão suporte ao processo de julgamento das alternativas, dentre outros aspectos que resultam na redução dos esforços e maiores oportunidade de melhores resultados.

As técnicas e modelos de decisão em grupo podem e devem ser aplicadas no processo de planejamento de ações de serviços públicos, onde a notoriedade e pressões sobre as decisões tomadas são bastante significativas e a participação social é necessária, e, portanto, os planejamentos devem ser realizadas de maneira participativa.

No entanto, observou-se que o processo de planejamento não tem ocorrido de maneira participativa. A demanda surge da sociedade, governo ou gerencial operacional da companhia de abastecimento. O passo seguinte é a contratação de projeto que realiza o serviço de

avaliação técnica. Essa avaliação técnica considera as alternativas segundo critérios de viabilidade, economia, custos de investimento, implantação, operação e manutenção, taxa de retorno, dentro outros aspectos. O relatório técnico sugere uma alternativa preferida que deve ter aprovação da companhia de abastecimento para, daí se partir para a escolha do fundo de recursos.

Diante dessa perspectiva, este trabalho propõe a integração de todos os atores interessados no processo de planejamento (sociedade civil, agências ambientais, poder público, órgão financiadores, concessionárias, etc) conferindo-lhes voz ativa e poder de julgamento no processo de planejamento, sendo então considerados decisores.

Dessa forma, para auxiliar o processo de planejamento da expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento é proposto um modelo de apoio à decisão, que inclui quatro etapas, que serão descritas no decorrer do capítulo e ilustradas no capítulo seguinte: a primeira visa o nivelamento de informações (identificação de alternativas, critérios, e demais informações necessárias). por meio de um *workshop*. A segunda etapa corresponde à avaliação das alternativas por cada participante. Nessa etapa, cada participante do processo decisório poderá ordenar as alternativas, identificadas na fase anterior, segundo cada um dos critérios, também já estipulados. O resultado dessa fase é a ordenação das alternativas. Para conferir cardinalidade a essa ordenação é introduzida a ideia de cartões brancos, por meio de uma adaptação do Procedimento de Simos, para distanciar as alternativas, conforme as preferências do decisor. A terceira fase trata da ordenação das preferências do grupo. Inicialmente o Método de Copeland é utilizado para a agregação das preferências individuais do grupo para cada critério. Em seguida, o método de Copeland é usado novamente e o resultado é a ordenação final das alternativas que deve representar as preferências de todo o grupo. A última fase corresponde à análise de satisfação de cada decisor com relação à ordenação coletiva. Isso é feito medindo a distância da ordenação individual e a ordenação coletiva, para cada critério.

Para melhorar a compreensão do modelo sugerido a Figura 4.1 é apresentada, considerando um exemplo com três decisores e cinco alternativas. Através dessa representação é possível visualizar as fases do modelo e o método utilizado em cada uma delas. Nas seções subsequentes, cada fase do modelo será descrita detalhadamente.



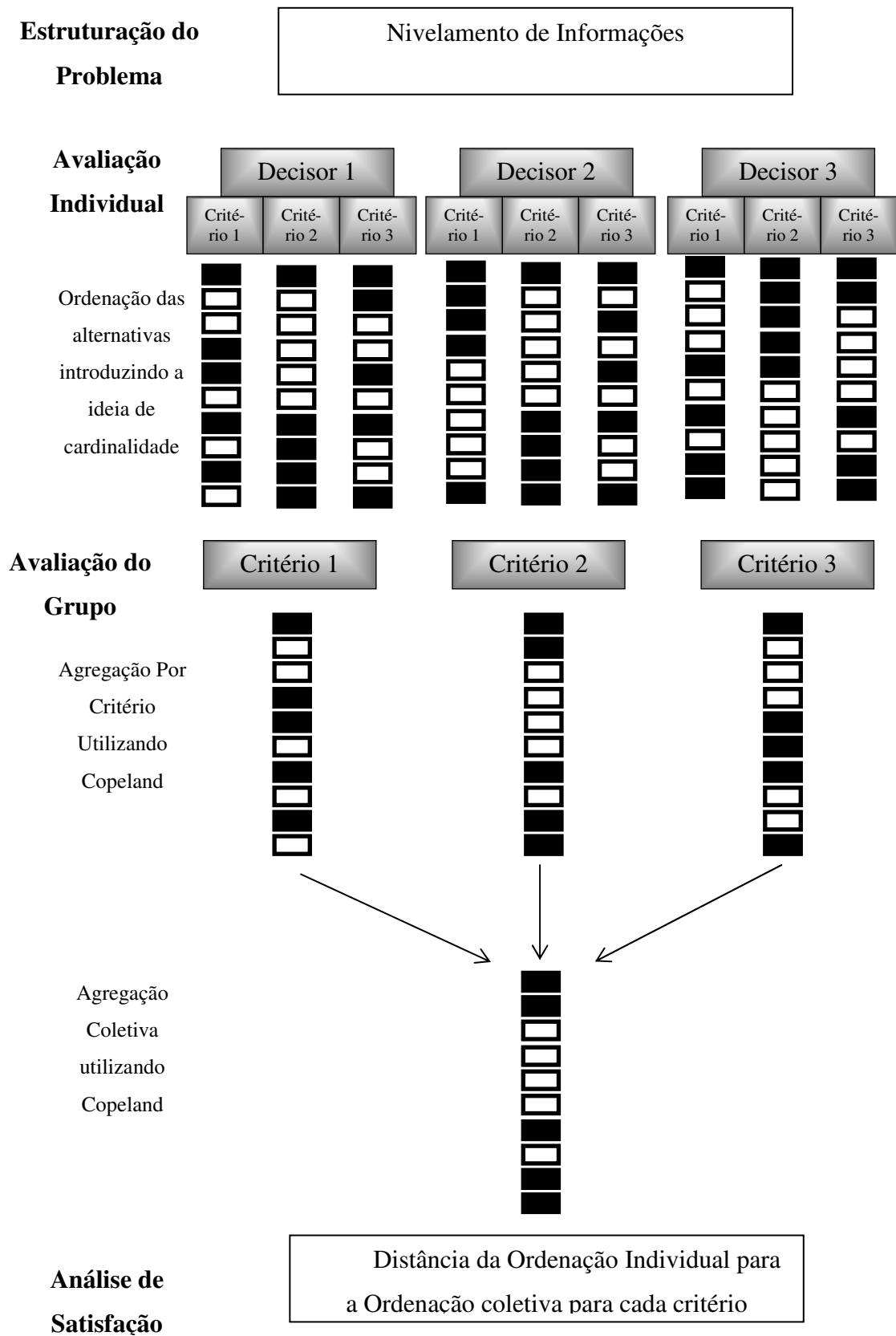


Figura 4.1 - Representação do Modelo Proposto.

Fonte: Autora, 2011.

## 4.1 Estruturação do Problema

Para um grupo de decisores completar uma tarefa de tomada de decisão, do ponto de vista da gestão, o trabalho mais importante é fazer com que a estrutura da tarefa de decisão esteja clara (Jingle et al, 2007).

Em geral, a tomada de decisão em grupo inclui partes tais como: análise de ambiente de decisão, desintegração do problema de decisão, concepção de alternativas e escolha de alternativas. Decisão em grupo é composta de muitas decisões individuais no qual a escala utilizada e estrutura podem influenciar os resultados da tomada de decisão. No processo decisório, a interação de tomada de decisão existe entre indivíduos, entre indivíduos e grupos, e entre diferentes grupos.

Assim, com base nessa análise, Lu e Yang (2010) afirmam que o processo de tomada de decisão-grupo é composto pelas seguintes fases: processo cognitivo, processo decisório e processo de comunicação do grupo. Antes do processo decisório as seguintes fases são sugeridas:

- A primeira fase é o processo cognitivo do grupo. Nessa fase o grupo de decisão é inicialmente definido, bem como os objetivos iniciais. O grupo analisa os objetivos globais, e busca descobrir os problemas iniciais de decisão e o conjunto de alternativas de decisão do projeto inicial, incluindo o processo de construção do conhecimento dos indivíduos e grupos.
- Em seguida, os indivíduos devem armazenar conhecimentos e se preparar para os objetivos iniciais da decisão. Antes do início do processo decisório, indivíduos podem inspirar uns aos outros por interações, e surgem as novas informações que podem ser designadas como o conhecimento da tomada de decisão.
- Finalmente, as alternativas de decisão inicial podem ser modificadas, adicionadas ou reduzidas.

Para auxiliar nesse processo é importante a participação de um facilitador. Esse ator tem o papel de recolher informações e capturar conhecimento, além de trazer as habilidades do grupo, controlando o processo, podendo ser um agente interno ou externo (Belton e Stewart, 2002).

O facilitador é o responsável por um *workshop*, isso é, deve promover um encontro entre os agentes decisores, podendo estes ser indivíduos ou grupos representados, antes de se iniciar o processo decisório, a fim de promover a comunicação entre todos.

### **Definição do Problema**

Em todos os casos, o processo para se chegar a uma decisão, se inicia na percepção do problema. O problema deve ser bem focalizado em termos de escopo, importância, valor e consequências de ação ou inação (Andrade, 2002).

A percepção do problema ocorre quando indivíduos ou grupos percebem que algo não corresponde ao normal, desejado ou planejado. O processo de decisão ocorre a partir dessa percepção. A coleta de informação permite a identificação precisa do problema e suas características. Após isso, é possível estabelecer objetivos, conhecer limitações, restrições e exigências.

É na fase de identificação do problema, que o conjunto de indivíduos, ou grupos, responsável pela decisão será consolidado.

Para efeito desse estudo será considerado que todos os decisores possuem o mesmo poder de decisão.

O facilitador deve então promover um *workshop* com o conjunto de decisores definido, onde todos deverão ter liberdade de expressar suas opiniões e conhecimento sobre o problema e objetivos. Esse processo trata-se de uma fase de aquisição de conhecimento e estruturação do problema, onde as opiniões pessoais são expressas livremente e as discussões são conduzidas pelo facilitador de forma que o problema de decisão seja progressivamente estruturado.

Esse *workshop* pode ainda ser baseado em um dos métodos de estruturação de problemas, apresentadas na seção 2.3.1, como por exemplo, através do mapeamento cognitivo, considerando que a emergência de consenso pode ser difícil, ou ainda o SSM que se trata de uma metodologia de aprendizagem.

Uma fase importante do processo de estruturação é a identificação das alternativas de decisão existentes.

### **Definição do conjunto de alternativas**

A definição das alternativas pode não ser uma tarefa simples, a depender da complexidade e extensão do problema. Dessa forma, quando um problema possui um alto grau de complexidade, pode ser necessário requisitar serviços externos para sugestão de alternativas.

No *workshop* as alternativas de decisão, sugeridas pelo grupo ou sugeridas por consultorias externas, são expostas, e suas características, impactos, benefícios e beneficiados, consequências, condições de aplicação, restrições, custos, informações técnicas e gerenciais, e demais informações disponíveis são discutidos pelos participantes.

Os decisores podem possuir níveis de informação e interesses amplamente diferentes e a explanação sobre as diferentes óticas do problema, promove um nivelamento de informações. Sendo assim, o facilitador deve incentivar que todos os decisores avaliem as alternativas, segundo, seus pontos de vista, de maneira que a troca de conhecimento ocorra. Com isso o conjunto de alternativas é avaliado pelos decisores, podendo haver inclusão ou exclusão de alternativas, e assim o conjunto A de alternativas é definido.

Essa troca de conhecimento sobre as alternativas, proporciona também suporte de informação para a comparação e julgamento das alternativas. Dessa forma, considera-se que todos os envolvidos serão capazes de julgar as alternativas dispondo do mesmo grau de informação.

### **Seleção dos Critérios**

A seleção dos critérios segue o mesmo procedimento da definição das alternativas. O facilitador incentiva a discussão, com todos os decisores, a respeito dos parâmetros de julgamento.

O objetivo dessa fase é selecionar um conjunto de critérios, sob os quais, todos os decisores deverão avaliar as alternativas.

Para esse modelo será considerado que todos os critérios possuem o mesmo grau de importância para todos os decisores.

## **4.2 Método de ordenação de preferências individuais**

Sendo estabelecido o conjunto de decisores  $\{DM\}$ , conjunto de alternativas  $\{A\}$  e os critérios de julgamento  $\{C\}$ , o grupo deverá avaliar individualmente o conjunto de alternativas. A problemática contemplada por esse modelo proposto é a Problemática de Ordenação (P.  $\gamma$ ) que direciona a investigação no sentido de determinar uma ordem definida em um subconjunto de A.

### Procedimento de Ordenação das alternativas

O Procedimento de Simos foi desenvolvido para definição de pesos dos critérios, conforme visto na seção 2.5.4 desse documento. No entanto, É realizada uma adaptação, para utilizar os mesmos princípios desse procedimento para ordenação de alternativas.

Assim, propõe-se nesta etapa do modelo para apoio a decisão na expansão de sistemas de abastecimento, a introdução de cartões brancos, do Procedimento de Simos, para expressar o tamanho do intervalo entre as alternativas, quando necessário, de forma a conferir também cardinalidade a ordenação das alternativas, conforme se segue.

Cada alternativa é identificada em um cartão, podendo haver suas características descritas ou não. Cada decisor receberá  $i$  conjuntos de cartões, que contém a alcunha das alternativas do conjunto  $A$ , onde  $i$  é a quantidade de critérios das alternativas consideradas no problema.

É pedido que o decisor ordene os cartões, segundo avalia as alternativas da mais preferida até a menos preferida, para cada critério. Nos casos que uma relação de preferência não pode ser estabelecida e, portanto, é identificada uma relação de indiferença entre as alternativas, o decisor pode agrupar os cartões e prendê-los com um grampo.

Depois de estabelecido um *ranking* preliminar das alternativas, o facilitador fornece a cada decisor conjuntos de cartões brancos, para cada critério, de mesma quantidade das alternativas avaliadas. O decisor deve distribuir os cartões brancos entre os cartões já ordenados, expressando assim a distância da preferência entre as alternativas, ou seja, os cartões brancos são utilizados para representar o intervalo existente entre duas alternativas, com relação a preferência do decisor. A posição do cartão no *ranking* define, quantitativamente, a preferência do decisor para cada uma das alternativas analisadas.

O procedimento é descrito através do exemplo seguinte para facilitar a compreensão.

Seja um conjunto de alternativas  $A$ , contendo 5 alternativas,  $A = \{a, b, c, d, e\}$ . O decisor ordena essas alternativas da seguinte maneira  $\{e, b, [a, c], d\}$ , onde as alternativas  $a$  e  $c$  são consideradas indiferentes para o decisor, a alternativa  $d$  a menos preferida e a alternativa  $e$  a mais preferida.

Após essa ordenação o decisor recebe 5 cartões em branco para serem distribuídos entre as alternativas. Observa-se que existirão 10 posições, sendo 5 referentes às alternativas e 5 cartões brancos (mesma quantidade de alternativas).

A posição 10 corresponde à decisão péssima, ou a pior decisão que se poderia tomar. A posição 1 corresponde à decisão ótima, ou seja, a melhor decisão que se poderia tomar.

Mantendo-se a ordem das alternativas já estabelecidas, os cartões em branco deverão ser inseridos entre os cartões das alternativas. Por exemplo, sendo a alternativa *e* considerada a melhor alternativa então esta deve ocupar a posição 1 e as outras alternativas alocadas nas posições que representem a distância entre elas. Assim, após a inclusão das alternativas, segundo a visão do decisor, a ordenação é vista na tabela:

Tabela 4.1 - Exemplo de Representação do *Ranking* Utilizando Cartões Brancos

Posição	Alternativa
1	<b>e</b>
2	<b>b</b>
3	
4	
5	<b>a,c</b>
6	
7	
8	<b>d</b>
9	
10	

Fonte: Autora, 2011.

Essa ordenação deve ser executada para todos os *i* critérios do conjunto *C*. A posição de cada alternativa representa a cardinalidade de cada alternativa no *ranking*.

É importante destacar que os números que deverão medir o valor das consequências da avaliação das preferências são representados em uma escala intervalar, onde, segundo Almeida (2010), o significado de cardinalidade dos números está no intervalo.

### 4.3 Método de Agregação das Preferências do Grupo

Após a ordenação individual realizada pelos decisores, em relação a cada critério, o processo de agregação dessas preferências visa exprimir a opinião do grupo quanto ao problema tratado.

Os métodos binários de agregação se referem à comparação par a par das alternativas. Esse tipo de abordagem é compatível ao perfil de agregação pretendido. Dentre os tipos de Métodos binários, o Método de Copeland se destaca por ser baseado em uma função *scoring* obtido nas comparações.

A regra de Copeland é uma relação binária completa e transitiva pelo *ranking* das alternativas de acordo com a diferença entre o número de alternativas que batem e o número de alternativas que perdem. Uma das propriedades que satisfaz é o princípio Condorcet bem conhecido, que afirma que o vencedor Condorcet, ou seja, a alternativa que ganha contra todas as outras alternativas em uma competição de pares, deve ser considerado a melhor no conjunto de alternativas. Há um forte apelo intuitivo para esta propriedade no sentido de que respeita a ideia de tomada de decisão democrática (Klamler, 2005).

O mesmo autor descreve o Método de Copeland. Seja  $X$  o conjunto finito de  $n$  alternativas, e  $R$ , contido em  $X^2$  uma relação binária em  $X$ , onde  $>_R$  representa a parte assimétrica de  $R$  e  $\sim_R$  representa a parte simétrica de  $R$ . A restrição de  $R$  para qualquer subconjunto  $S$  de  $X$  é escrita  $R \setminus S$ . Seja  $\beta$  o conjunto de todas as relações binárias completas em  $X$ . Para todo  $x \in X$ , a relação de  $\beta$  tendo  $x$  como a única alternativa no topo é dada por  $M_x = \{R \in \beta: (\forall y \in X \setminus \{x\}) x >_R y\}$ . A distância entre qualquer duas relações binárias  $R, R' \in \beta$  será medida pela métrica de Kemeny  $\delta: \beta \times \beta \rightarrow \mathbb{R}_+$ , onde  $\delta(R, R') = |(R - R') \cup (R' - R)|$ , ou seja, a distância entre duas relações binárias completas é igual à cardinalidade de sua diferença simétrica.

Após a ordenação das preferências individuais, onde as alternativas são ordenadas por critério, segundo a visão de cada decisor, o procedimento de agregação dessa preferência, utiliza o Método de Copeland para ordenar as alternativas por critério, baseado na ordenação individual.

O resultado dessa etapa é uma ordenação para cada critério, onde cada alternativa possui uma posição no *ranking* que indica o intervalo entre as alternativas na preferência dos decisores.

Para finalizar o processo de decisão em grupo através do estabelecimento de um *ranking* final de alternativas, o Método de Copeland é aplicado novamente, utilizando como entrada dessa vez, a ordenação das alternativas por critério, já agregadas pelas preferências dos decisores anteriormente.

O modelo desenvolvido propõe a agregação das preferências por critério, pois dessa forma é possível verificar a avaliação do grupo para cada critério, através da ordenação resultante desse processo.

Esse tipo de análise possibilita uma avaliação mais apropriada nos casos em que os critérios possuem importâncias diferentes para cada decisor.

Assim, para se verificar a robustez dessa forma de agregação, sugere-se uma análise de sensibilidade, realizando a agregação das alternativas para cada decisor e, a partir delas, a agregação final das alternativas segundo a perspectiva do grupo.

#### 4.4 Análise de Satisfação

Para que um decisor sinta-se satisfeito com o resultado da ordenação final das alternativas, ele deseja saber se a decisão em grupo está baseada em sua ordenação inicial. Uma medida de qualidade da decisão em grupo é justamente a satisfação dos seus responsáveis. Assim, deseja-se maximizar o nível de satisfação de todos os envolvidos no processo.

Sabendo que um processo de decisão em grupo visa expressar os pontos de vista e os interesses de seus membros, quanto mais próximo o resultado final estiver do que foi proposto pelo decisor, mais satisfeito ele estará. Deseja-se então que a maior quantidade de membros do grupo esteja satisfeita.

Para verificar a satisfação dos decisores, com relação à ordenação global das alternativas, é realizada uma comparação das posições das alternativas no *ranking* individual com as posições no *ranking* global, para cada uma das alternativas, de forma que o mínimo de informação é perdida.

A metodologia permitiu agregar um valor a cada alternativa. A expressão numérica da posição de cada alternativa permite a realização do cálculo da diferença entre a posição da alternativa  $x_j$  na avaliação individual e na avaliação do grupo.

O somatório do módulo das diferenças, para cada alternativa, exprime a ideia de quão próximas às preferências individuais estão da coletiva. Como a distância pode ser para cima ou para baixo no *ranking*, essa diferença é obtida em módulo. Essa diferença é representada por  $d_i = |x_{ij} I - x_{ij} G|$ , onde  $j$  se refere às alternativas, sendo que  $j=1, \dots, n$ , e  $n$  a quantidade de alternativas e  $i$  aos critérios. Assim,  $x_{ij} I$  representa a avaliação individual da alternativa  $j$ , para o critério  $i$  e  $x_{ij} G$  representa a agregação do grupo para o critério  $i$ .



Assim, o quanto mais próximo o somatório estiver de zero, maior a satisfação do decisor. Se a posição máxima de uma alternativa for  $k$ , a maior diferença entre a ordenação individual e coletiva é  $(k-1)$ .

Essa análise é feita separadamente para cada critério. Para se obter o índice de satisfação  $S_i$  do indivíduo para cada critério, tem-se que  $S_i = \sum d_i$ , onde  $i$  refere-se a cada um dos critérios, sendo  $i=1, \dots, m$ , onde  $m$  é a quantidade de critérios.

Logo, entende-se que o decisor poderia estar completamente insatisfeito se  $S_i = n(k-1)$  e completamente satisfeito se  $S=0$ .

O nível de satisfação pode ser classificado em faixas. A quantidade de faixas depende das características e objetivos de cada caso de estudo.

## **5 APLICAÇÃO DO MÉTODO**

O planejamento da expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento é visto como um processo de decisão em grupo, pois demanda a participação de diferentes atores, cujos interesses podem ser bem distintos. Dentre esses atores, se destacam representantes do poder público, concessionária de água, agentes ambientais, sociedade, analistas técnicos, representantes políticos, dentre outros.

Cada ator visualiza o problema sob a ótica de seu interesse e a busca de um consenso entre eles pode ser uma busca tão difícil quando ineficiente. Sendo assim, um processo de planejamento, onde cada um pode expressar as suas expectativas e preferências de ação particularmente, segundo seus interesses, onde suas opiniões e expectativas são organizadas e expressas com o apoio de um procedimento bem estruturado e compreendido por todos confere ao procedimento de decisão maior riqueza de informações e que as propostas de ação aceitas representam os anseios do grupo.

As seções seguintes apresentam a aplicação do modelo proposto para um caso fictício de expansão da capacidade de um sistema de abastecimento, como forma de representar a aplicabilidade do método, como também ilustrar as etapas do modelo descritas no capítulo anterior.

### **5.1 Estruturação do Problema**

O princípio de um processo de planejamento de decisão é a observação da existência de fatores que fogem à normalidade, planejamento ou desejo.

Ao se tratar de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), essa percepção pode surgir da população a que o sistema serve. Pode ainda ser a concessionária de abastecimento que detecta o problema em seus serviços. Ou ainda ser resultado de pesquisas e diagnósticos originados pelo poder público.

O artigo nº182 da Constituição Federal de 1988 atribui à responsabilidade de ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais das cidades, apresentação de propostas para a implantação de melhorias nos setores de infraestrutura, o que inclui sistema de abastecimento de água aos municípios com mais de 20.000 habitantes, através do Plano Diretor.

O planejamento respalda a solicitação do poder público no aporte de recursos junto aos órgãos financiadores, incluído os aspectos técnicos, físicos, ambientais, socioeconômicos, que devem atender a demanda do município por água, sendo compatível com o sistema já existente e a disponibilidade financeira da concessionária de abastecimento.

Tendo em vista os aspectos que devem ser contemplados em um planejamento dessa natureza, cinco representantes são selecionados:

Tabela 5.1 - Representação dos Decisores

<b>Decisores</b>	<b>Grupo representado pelo Decisor</b>
<b>DM1</b>	Poder Público
<b>DM2</b>	Comunidade
<b>DM3</b>	Agência de Meio Ambiente
<b>DM4</b>	Concessionária de água
<b>DM5</b>	Projetistas Técnicos

Fonte: Autora, 2011.

Considerando o caso de uma cidade, designada de CIDADE A, cujo atendimento de abastecimento de água é de aproximadamente 88% da população. A CIDADE A possui sérios problemas de precariedade e os rodízios de abastecimento são constantes, chegando até 12 dias sem água em determinados bairros.

O sistema de abastecimento, produção, tratamento e distribuição de água, foi projetado para atender a uma população de 600.000 habitantes e o serviço de abastecimento é realizado por uma Companhia de Saneamento, nomeada CS. No entanto, a CIDADE A passa por um rápido crescimento populacional, motivado por características relacionadas ao desenvolvimento econômico da região e a população da cidade deve superar 600.000 em aproximadamente 4 anos. Esse fato, aliado aos problemas já existentes, revelam a necessidade de planejamento de expansão do sistema de abastecimento da referida cidade.

A água que é produzida pela CS é proveniente de um lago localizado em uma área de preservação ambiental e a água bruta, captada em um rio é encaminhada por um canal e armazenada no lago. A água do lago é recalçada por duas estações elevatórias de água bruta para três estações de tratamento.

Para a elaboração do conjunto de alternativas que solucionem esse problema, foi contratado um grupo de pesquisa para o planejamento de ações. Foram realizadas, portanto, estudos para aproveitamento da infraestrutura instalada, recuperação e ampliação das unidades existentes e a implementação de novas unidades de captação, adução e recalque de água tratada, reservação e redes de distribuição. Foram analisados aspectos técnico, econômico, social e ambiental das alternativas estudadas. Também foi proposta relação de prioridades por zona de abastecimento, elaborado cronograma de implantação de atividades e

determinado o custo da expansão/implantação das unidades dos sistemas de abastecimento previstos para a CIDADE A em um horizonte de 20 anos.

Como resultado desse estudo foram elaboradas quatro alternativas de ação:

ALTERNATIVA I – Aumento da área atendida com água subterrânea e limitação com água superficial. Nessa alternativa, o abastecimento, a partir de manancial superficial, será reduzido progressivamente e se limitará à zona que demanda maior quantidade de m<sup>3</sup>/dia. O custo de implantação dessa alternativa é aproximadamente R\$512.000.000,00 e possui um alto custo de manutenção

ALTERNATIVA II – O abastecimento, a partir de manancial superficial, receberá incremento e aumentará a quantidade de áreas atendidas. Para tanto, serão ampliadas as unidades do sistema de abastecimento gradualmente em três etapas e após a última implementação, uma das duas estações de tratamento será desativada. Custo de R\$ 370.000.000,00 para implantação e alto custo de manutenção.

ALTERNATIVA III – Ampliação do sistema de produção de água em três etapas, onde a quantidade de água produzida quadruplicará. Desativação de estação de tratamento. Aumento progressivo da área atendida com água superficial nas áreas mais densamente povoadas e nas demais áreas, atendimento com água subterrânea. Custo de R\$ 480.000.000,00 referentes à implantação.

ALTERNATIVA IV – Captação em um novo manancial, duplicação da capacidade de produção de água no sistema existente, desativação de uma estação de tratamento, aumento progressivo da área atendida com água superficial nas áreas mais densamente povoadas e atendimento com águas subterrâneas nas demais. Custo de implantação de R\$ 620.000.000,00 e menor custo de manutenção.

Após o levantamento e documentação das alternativas, cada decisor recebe uma cópia do documento, para que possa se munir de informações a respeito de cada uma.

Um *workshop* é organizado pelo decisor representante do poder público. Esse decisor é também o facilitador. Ele é responsável por convocar os demais decisores e presidir as reuniões.

Nesse encontro, todos os decisores são incentivados a explicar sobre cada uma das alternativas, indicando os aspectos relevantes que pesam contra e a favor daquela alternativa em sua área de interesse. Nesse processo, os decisores podem entrar em consenso sobre a exclusão ou adição de alternativas.

Esse procedimento é de suma importância para o entendimento e aprendizado no processo de decisão. É nessa oportunidade que ocorre um nivelamento de informações, onde cada decisor pode confrontar suas dúvidas com relação a informações que não estão em seu âmbito de conhecimento, de forma que todos poderão julgar as alternativas, para cada critério de forma mais equiparada.

No caso em estudo, após a discussão das alternativas, os decisores chegaram à conclusão que a manutenção da ALTERNATIVA I no rol de alternativas de decisão não acrescentava valor à discussão, pois essa é uma alternativa dominada por todas as outras, em todos os critérios, por todos os decisores. Dessa forma, o conjunto final de alternativas para ser trabalhado pelo grupo foi:

Tabela 5.2 - Descrição das Alternativas

ALTERNATIVAS	DESCRIÇÃO
<b>A1</b>	Aumento do abastecimento a partir das águas superficiais; aumento das áreas atendidas; ampliação do sistema de abastecimento em três etapas; desativação de uma ETA; Custo inicial R\$370.000.000,00; Maior custo de manutenção entre as alternativas.
<b>A2</b>	Ampliação do sistema de produção de água em três etapas; a quantidade de água produzida quadruplicará. Desativação de ETA; aumento progressivo da área atendida com água superficial nas áreas mais densamente povoadas e nas demais áreas, atendimento com água subterrânea. Custo de implantação R\$ 480.000.000,00.
<b>A3</b>	Captação em um novo manancial, duplicação da capacidade de produção de água no sistema existente, desativação de uma estação de tratamento, aumento progressivo da área atendida com água superficial nas áreas mais densamente povoadas e atendimento com águas subterrâneas nas demais. Custo de implantação de R\$ 620.000.000,00. Menor custo de manutenção.

Fonte: Autora, 2011.

No mesmo processo de discussão, os critérios de julgamento também são definidos pelos decisores. Os critérios sugeridos pelos decisores puderam ser agrupados em apenas três, designados da seguinte forma:

Tabela 5.3 - Designação do conjunto de Critérios

<b>Critérios</b>	<b>Aspectos</b>
<b>C1</b>	Técnico
<b>C2</b>	Econômico
<b>C3</b>	Ambiental

Fonte: Autora, 2011.

No critério Técnico (C1) estão incluídas informações sobre alcance do projeto, vazão, capacidade de população atendida, facilidade de ampliação das obras físicas, dados hidrológicos, pluviométricos, características físicas, químicas e bacteriológicas da água, localização no manancial e de focos poluidores atuais e potenciais, distância do local de captação e estações de tratamento, disponibilidade de energia elétrica para alimentação de motores, dentre outros fatores.

No critério Econômico (C2) estão incluídos os custos fixos, ou de investimento, incluindo os gastos com desapropriação, e os gastos variáveis de manutenção e operação ao longo do alcance do projeto.

O critério ambiental (C3) considera o período de realização das obras e após a realização da mesma. Durante as obras, fatores como a supressão da vegetação para a abertura de valetas, construção de canteiro de obras e resíduos gerados podem conferir a esse atributo classificação de baixo impacto, alto impacto e impacto moderado. O impacto ambiental após a realização da obra, considerando a capacidade de recuperação da vegetação, eliminação de resíduos e aproximação das características ambientais existentes antes da obra, podem seguir a mesma classificação.

No processo de decisão, cada critério pode ter uma importância distinta para os decisores, recebendo dessa forma pesos. O peso do critério indica o grau de importância que o decisor atribuiu ao critério. Para esse estudo, será considerado que os critérios possuem o mesmo grau de importância, para todos os decisores.

Após o estabelecido do conjunto de decisores, nivelamento de informações, conjunto de alternativas e critérios, é possível iniciar o processo de julgamento das alternativas.

## 5.2 Ordenação das Preferências Individuais

Conforme o procedimento, descrito na seção 4.2, adaptado do Procedimento de Simos, cada decisor receberá três cartões. Em cada cartão constará o nome de uma alternativa e cada

decisor é orientado a ordenar as alternativas em ordem decrescente, ou seja, da mais preferida até a menos preferida, podendo agrupar os cartões relativos às alternativas que o decisor não é capaz de estabelecer uma relação de preferência.

Para isso, o facilitador orienta os decisores a ordenarem os cartões, respondendo sucessivamente a pergunta: “*Dentre os cartões ainda não selecionados, ou seja, que ainda estão em sua mão, qual dessas alternativas, na sua opinião, é a melhor com relação ao critério técnico?(e econômico? e ambiental?)*”. Essa pergunta deve ser repetida, para todos os critérios, até não haver mais cartões na mão do decisor, ou seja, até que todas as alternativas sejam alocadas na ordem de preferência.

Seguindo essa orientação, a Figura 5.1 expressa os resultados dessa ordenação.

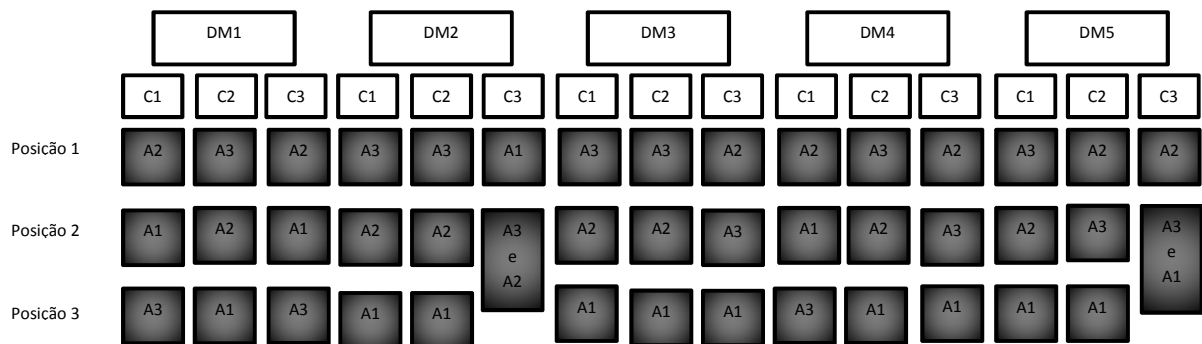


Figura 5.1 - Ordenação das Preferências dos Decisores

Após a ordenação das alternativas, da mais preferida até a menos preferida, cada decisor recebe cartões em branco, na mesma quantidade do conjunto de alternativas, para serem organizados entre os cartões já ordenados, de forma a expressar o quanto uma alternativa é mais preferível que outra, através da distância dos cartões. Dessa forma, as alternativas devem ocupar posição de 1 a 6, sendo que a alternativa na posição 1 indica que ela é a mais preferível, na ótica do decisor, para o critério.

Seguindo essa orientação, obtêm-se as ordenações ilustradas na Figura 5.2

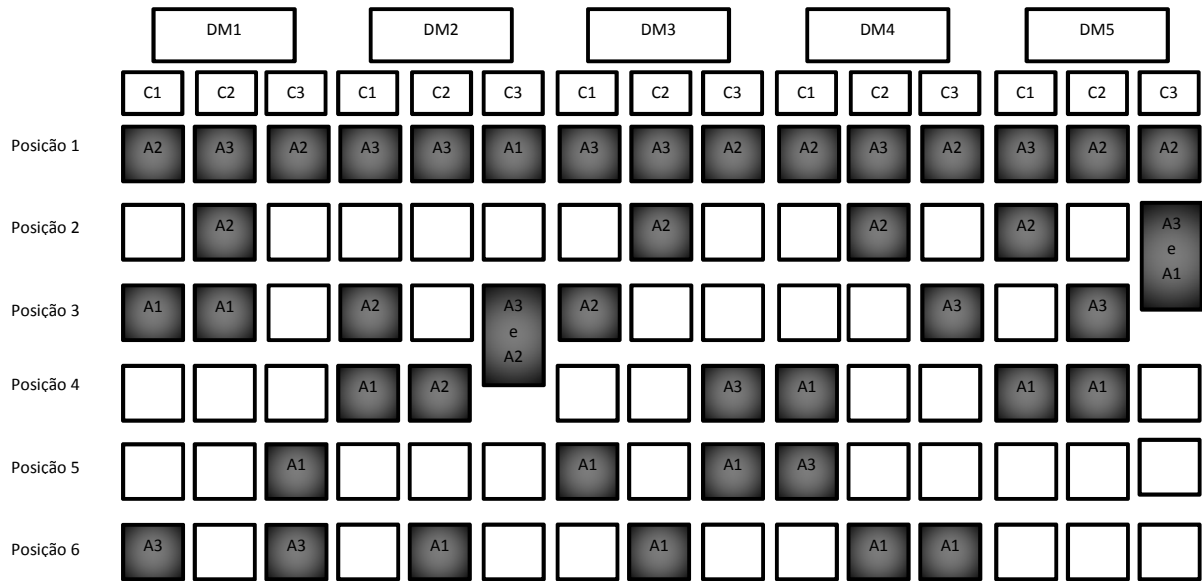


Figura 5.2 - Ordenação e Posição das alternativas no Ranking

Com isso é possível, além de observar a ordem das alternativas, verificar a posição das alternativas no ranking, acrescentando assim, a informação do intervalo que expressa a distância em que uma alternativa é preferível à outra.

Sendo assim, a Tabela 5.4 resume essas posições:

Tabela 5.4 - Posição das Alternativas no *Ranking* para cada decisor, por critério

Alternativas	DM1			DM2			DM3			DM4			DM5		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A1	3	3	4	4	6	1	5	6	5	4	6	3	4	4	2
A2	1	2	1	3	4	3	3	2	1	1	2	1	2	1	1
A3	6	1	6	1	1	3	1	1	4	5	1	6	1	3	2

Essas posições no *ranking* representam a aproximação, ou distanciamento, das alternativas do que seria uma alternativa ideal. Dessa forma, quanto mais distante de 1, mais distante se está do ideal, segundo a visão pessoal de cada decisor.

### 5.3 Agregação das Preferências do Grupo

Para expressar a ordenação das alternativas pela decisão do grupo, um procedimento de agregação deve ser realizado.



Como descrito no capítulo anterior, o Método de Copeland foi escolhido, devido as suas características de prática aplicação e por permitir a ordenação das alternativas baseado em uma função *scoring* obtida por comparações (Nurmi, 1983). Esse método utiliza a comparação par a par como entrada e nessa comparação, cada alternativa recebe um número ou *score*. A alternativa com maior número de votos é anunciada a vencedora.

O *score* de Copeland é determinado pela diferença da quantidade de alternativas que uma alternativa  $x_j$  supera as outras alternativas pela quantidade de vezes que ela é superada.

O Método de Copeland foi utilizado pra agrupar as alternativas para cada critério. Segue-se a ordenação, iniciando para o critério C1.

Para o critério C1 as posições das alternativas no *ranking*, para cada decisor foram:

Tabela 5.5 - Posição das Alternativas no *Ranking* para o critério C1

	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
A1	3	4	5	4	4
A2	1	3	3	1	2
A3	6	1	1	5	1

Assim, a contagem de votos dos 5 decisores para o critério C1 foi:

Tabela 5.6 - Contagem de Votos para o critério C1

	A1	A2	A3	Votos
A1	-	0	2	2
A2	5	-	2	7
A3	3	3	-	6
Votos	8	3	4	

Dessa forma, a ordenação das alternativas para o critério C1 e seus respectivos *scores* são:

Tabela 5.7 - *Scores* de Copeland para C1

Ordenação	Score de Colepand
A2	4
A3	2
A1	-6

Através da Tabela 5.7 observa-se que para o critério C1, a alternativa A2 é a vencedora, possuindo o maior *score*, seguido das alternativas A3 e A1.

Para o critério C2, os decisores definiram as seguintes posições para cada alternativa:

Tabela 5.8 - Posição das Alternativas no *Ranking* para o critério C2

	<b>DM1</b>	<b>DM2</b>	<b>DM3</b>	<b>DM4</b>	<b>DM5</b>
<b>A1</b>	3	6	6	6	4
<b>A2</b>	2	4	2	2	1
<b>A3</b>	1	1	1	1	3

Repetindo o procedimento para o critério C2, utilizando o Procedimento de Copeland, gera-se a seguinte tabela de votos com para cada uma das alternativas, pelo julgamento dos cinco decisores:

Tabela 5.9 - Contagem de Votos para o critério C2

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Votos</b>
<b>A1</b>	-	0	0	0
<b>A2</b>	5	-	1	6
<b>A3</b>	5	4	-	9
<b>Votos</b>	10	4	1	

Os resultados obtidos na Tabela 5.9 permitem determinar a ordenação das alternativas para o critério C2, na visão do grupo, observando-se a seguinte ordem:

Tabela 5.10 - *Score* de Copeland para o critério C2

<b>Ordenação</b>	<b>Score de Copeland</b>
<b>A3</b>	8
<b>A2</b>	2
<b>A1</b>	-10

A posição das alternativas para o critério C3, segundo o julgamento dos decisores é apresentada na Tabela 5.11:

Tabela 5.11- Posição das Alternativas no *Ranking* para o critério C3

	<b>DM1</b>	<b>DM2</b>	<b>DM3</b>	<b>DM4</b>	<b>DM5</b>
<b>A1</b>	4	1	5	3	2
<b>A2</b>	1	3	1	1	1
<b>A3</b>	6	3	4	6	2

Para a aplicação do Procedimento de Copeland, realiza-se a contagem dos votos, como se observa na Tabela 5.12

Tabela 5.12 - Contagem de Votos para o critério C3

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Votos</b>
<b>A1</b>	-	1	3	4
<b>A2</b>	4	-	4	8
<b>A3</b>	2	0	-	2
<b>Votos</b>	6	1	7	

Da Tabela 5.12, extrai-se que a alternativa A2 é a vencedora seguida das alternativas A1 e A3, como se segue na Tabela 5.13:

Tabela 5.13 - *Score* de Copeland pra C3

<b>Ordenação</b>	<b>Score de Copeland</b>
<b>A2</b>	7
<b>A1</b>	-2
<b>A3</b>	-5

Considerando o Método de Copeland para ordenar as alternativas, obtém-se o seguinte resultado para a agregação das preferências dos decisores, para cada critério, conforme a Tabela 5.14:

Tabela 5.14 - Ordenação das Alternativas, por critério, pelo Método de Copeland

<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
A2	A3	A2
A3	A2	A1
A1	A1	A3

Por fim, para conhecer a ordenação final das alternativas, pela agregação das preferências individuais dos decisores, utiliza-se o mesmo procedimento empregado na ordenação das alternativas por critério.

Encontra-se o *score* de Copeland pela comparação par a par, através da subtração da quantidade de vezes que uma alternativa supera as demais, pela quantidade de vezes que ela é vencida.

A Tabela 5.15 apresenta os votos obtidos para cada alternativa:

Tabela 5.15 -Contagem de votos para as alternativas

	A1	A2	A3	Votos
<b>A1</b>	-	0	1	1
<b>A2</b>	3	-	2	5
<b>A3</b>	2	1	-	3
<b>Votos</b>	5	1	3	

A utilização dos *scores* de Copeland é possível expressar a ordenação final das alternativas que representa a preferência dos cinco decisores, considerando os três critérios.

Assim, a ordenação final das alternativas é expressa na Tabela 5.16

Tabela 5.16 - *Score* de Copelan pra ordenação final

Ordenação	Score de Copeland
<b>A2</b>	4
<b>A3</b>	0
<b>A1</b>	-4

O Método de Copeland não expressa a cardinalidade da relação de preferência, ou seja, não é possível definir o quanto uma alternativa é mais preferível à outra. Para preencher essa lacuna e sanar possíveis inconsistências na agregação das preferências que excluem a observação dessa distância foram inseridos os cartões brancos no *ranking* das alternativas, a fim de minimizar esses problemas.

Considerar a cardinalidade da ordenação das alternativas pode apoiar o processo de discussão e julgamento das opções, ao se considerar o quanto uma alternativa se destaca com relação as demais.

Para expressar a distância entre essas alternativas faz-se uso das posições que cada alternativa ocupou no *ranking*, após a inserção dos cartões brancos.

Para expressar a posição média das alternativas por critério, verifica-se a posição que cada decisor atribuiu as alternativas. A posição de cada alternativa no *ranking*, por critério é obtida através da aproximação (para o inteiro mais próximo) da média aritmética dessas posições. Assim, verifica-se, na Tabela 5.17, que as alternativas possuem as seguintes posições para o grupo, com relação ao critério C1:

Tabela 5.17 - Posição das alternativas no *ranking* para C1

Ordenação	Posição no <i>Ranking</i>
A2	2
A3	3
A1	4

Observa-se que a ordenação das alternativas, considerando a distância entre elas, conserva a ordem observada pelo *score* de Copeland {A2, A3, A1}. Mesmo a alternativa A3 se aproximando mais vezes da posição 1, que indica que a alternativa é a melhor para o critério, os decisores que não a julgaram a melhor indicaram uma distância muito grande da posição ideal.

Realizando o mesmo procedimento para o critério C2, obtém-se a Tabela 5.18:

Tabela 5.18 - Posição das alternativas no *ranking* para C2

Ordenação	Posição no <i>Ranking</i>
A3	1
A2	2
A1	5

A ordenação utilizando os *scores* de Copeland e a posição média da alternativa no *ranking* se mantém a mesma indicando que a relação de preferência entre as alternativas para esse critério é robusta.

A posição das alternativas, através da integração da opinião do grupo, utilizando como entrada a média aritmética das posições no *ranking* e uma aproximação para o inteiro mais próximo revela a seguinte ordenação das alternativas para o critério C3, vista na Tabela 5.19:

Tabela 5.19 - Posição das alternativas no *ranking* para C3

Ordenação	Posição no <i>ranking</i>
A2	1
A1	3
A3	4

Para o critério C3 a ordenação das alternativas mantém-se utilizando os *scores* de Copeland e a posição média das alternativas no *ranking*.

A agregação das preferências individuais dos cinco decisores, para cada critério é ilustrada na Figura 5.3, considerando a posição média no *ranking* obtido após a inclusão de cartões brancos:

	C1	C2	C3
Posição 1		A3	A2
Posição 2	A2	A2	
Posição 3	A3		A1
Posição 4	A1		A3
Posição 5		A1	
Posição 6			

Figura 5.3 - Ordenação das Alternativas, por critério, pela posição média no *ranking*

Observa-se que para todos os critérios, a ordenação obtida pela posição média no *ranking* é a mesma obtida pelo score de Copeland, no entanto a introdução da ideia de distância entre as alternativas possibilita uma melhor visualização dessa relação de preferência.

Assim, tem-se que a ordenação final das alternativas, obtida através da agregação da opinião de todos os componentes do grupo, é a mesma ordem obtida pelo *score* de Copeland, como observado na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 - Posição das Alternativas no ranking final

Ordenação	Posição no <i>ranking</i>
A2	2
A3	3
A1	5

A Figura 5.4 ilustrar a posição média das alternativas no *ranking*, utilizando o sistema de cartões:

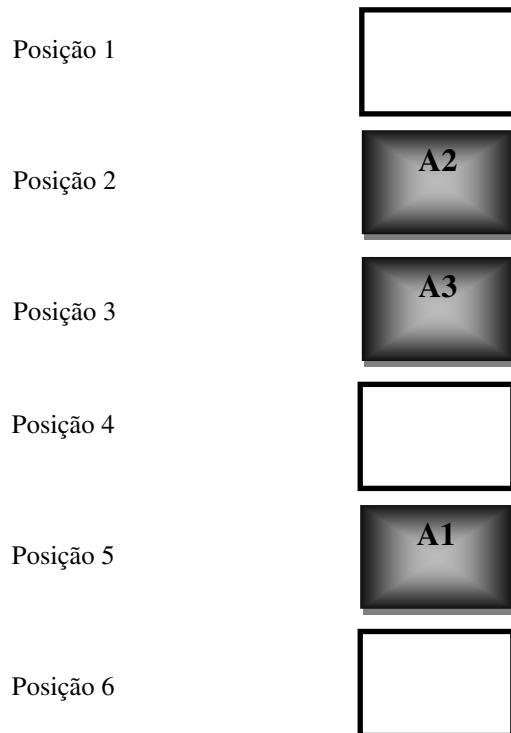


Figura 5.4- Ordenação final das alternativas, ordenada por critério

Comparando o resultado obtido através do Método de Copeland e a posição média no *ranking*, conclui-se que a alternativa A2 representa a opção preferida pela agregação das preferências do grupo, essa alternativa não se distâcia muito da posição ideal 1, indicando que para todos os decisores e para todos os critérios, as avaliações negativas foram insuficientes para descreditá-la como opção preferível. O oposto pode ser observado para a

alternativa A1. Mesmo tendo essa alternativa sido a preferida em algum momento, na maior parte dos julgamentos, essa alternativa se conservou longe da melhor posição do *ranking*.

#### 5.4 Análise de sensibilidade

Para testar se os resultados obtidos pelo modelo são robustos, a agregação das preferências é realizada para cada indivíduo.

A classificação das alternativas, na opinião do decisor DM1 é vista na Tabela 5.21

Tabela 5.21 - Posição das alternativas no *ranking* para o decisor DM1

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>A1</b>	3	3	4
<b>A2</b>	1	2	1
<b>A3</b>	4	1	6

Utilizando o Método de Copeland para agregação das preferências para cada decisor, obtém-se a seguinte contagem de votos para o decisor DM, conforma aTabela 5.22.

Tabela 5.22 - Contagem de Votos para o decisor DM1

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Votos</b>
<b>A1</b>	-	0	2	2
<b>A2</b>	3	-	2	5
<b>A3</b>	1	1	-	2
<b>Votos</b>	4	1	4	

A ordenação das alternativas para o decisor DM1 é então vista na Tabela 5.23:

Tabela 5.23 - *Score* de Copeland para o decisor DM1

<b>Ordenação</b>	<b>Score de Colepand</b>
<b>A2</b>	4
<b>A3 e A1</b>	-2

Para o decisor DM1 a alternativa A2 é a vencedora de Copeland e não é possível estabelecer uma relação de preferência entre as alternativas A3 e A1.



A posição média das alternativas no *ranking* para o decisor DM1 é então observada na Tabela 5.24:

Tabela 5.24 - Posição média das alternativas no *ranking* para o decisor DM1

Ordenação	Posição no <i>Ranking</i>
<b>A2</b>	1
<b>A1</b>	3
<b>A3</b>	4

Este resultado confirma a informação obtida pelo Procedimento de Copeland, que alternativa A2 é a preferida para o decisor DM1 e destaca que mesmo na contagem de votos não seja possível estabelecer uma relação de preferências entre elas, a média aproximada da posição das alternativas no *ranking* indica que a alternativa A3 foi classificada, em média, em piores posições com relação a A1.

O decisor DM2 ordena, conforme a Tabela 5.25, as alternativas para os três critérios com as seguintes posições:

Tabela 5.25 - Posição das alternativas no *Ranking* para o decisor DM2

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>A1</b>	4	6	1
<b>A2</b>	3	4	3
<b>A3</b>	1	1	3

A contagem de votos de cada alternativa é apontada na Tabela 5.26

Tabela 5.26 - Contagem de votos para o decisor DM2

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Votos</b>
<b>A1</b>	-	1	1	2
<b>A2</b>	2	-	0	2
<b>A3</b>	2	2	-	4
<b>Votos</b>	4	3	1	

A ordenação das alternativas para o decisor DM2 é então, utilizando o Procedimento de Copeland visualizada na Tabela 5.27:

Tabela 5.27 - *Score* de Copeland para o decisor DM2

Ordenação	Score de Colepand
A3	3
A2	-1
A1	-2

Verificando a distância dessas alternativas no *ranking*, tem-se que a posição média das alternativas é expressa na Tabela 5.28:

Tabela 5.28 - Posição média das alternativas no *ranking* para o decisor DM2

Ordenação	Posição no Ranking
A3	2
A2	3
A1	4

O resultado aponta a alternativa A3 como preferível, na agregação das preferências do decisor DM2, confirmando os resultados pelo Método de Copeland.

O decisor DM3 ordena as alternativas no *ranking*, incluindo a cardinalidade dessa ordem, através da utilização de cartões brancos, como segue na Tabela 5.29.

Tabela 5.29 - Posição das alternativas no *Ranking*, para o decisor DM3

	C1	C2	C3
A1	5	6	5
A2	3	2	1
A3	1	1	4

A contagem de votos para cada alternativa é expresso na Tabela 5.30:

Tabela 5.30 - Contagem de votos, para o decisor DM3

	A1	A2	A3	Votos
A1	-	0	0	0
A2	3	-	0	3
A3	3	3	-	6
Votos	6	3	0	

Dessa forma, as alternativas recebem os seguintes *scores*, utilizando o Procedimento de Copeland, e são ordenadas como segue na Tabela 5.31:

Tabela 5.31 - *Score* de Copeland para o decisor DM3

Ordenação	Score de Colepand
A3	6
A2	0
A1	-6

A posição aproximada das alternativas no *ranking* é apresentada na Tabela 5.32:

Tabela 5.32 - Posição das alternativas para o decisor DM3

Ordenação	Posição no <i>Ranking</i>
A3	2
A2	2
A1	5

Verifica-se que a alternativa A1 está aproximadamente na posição 5 do *ranking*, indicando que essa alternativa é avaliada como muito distância da melhor alternativa, em todos os critérios, na avaliação do decisor DM3.

O decisor DM4 ordenou as alternativas e atribuiu as seguintes posições no *ranking*, como consta na Tabela 5.33:

Tabela 5.33 - Posição das alternativas no *ranking* para o decisor DM4

	C1	C2	C3
A1	4	6	3
A2	1	2	1
A3	5	1	6

Assim, a contagem de votos para esse decisor é representada na Tabela 5.34:

Tabela 5.34 - Contagem de votos para o decisor DM4

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Votos</b>
<b>A1</b>	-	0	2	2
<b>A2</b>	3	-	2	5
<b>A3</b>	1	1	-	2
<b>Votos</b>	4	1	4	

Dessa forma, as alternativas recebem os *scores* de Copeland e são ordenadas como se segue na Tabela 5.35:

Tabela 5.35 - *Score* de Copeland para o decisor DM4

<b>Ordenação</b>	<b>Score de Colepand</b>
<b>A2</b>	4
<b>A1 e A3</b>	-2

Para identificar a posição aproximada das alternativas no *ranking* e verificar a relação entre A1 e A3, cuja relação de preferência não pode ser identificada através do Método de Copeland, calcula-se a posição média das alternativas no *ranking*. Os resultados são vistos na Tabela 5.36:

Tabela 5.36 - Posição média das alternativas no *ranking* para o decisor DM4

<b>Ordenação</b>	<b>Posição no Ranking</b>
<b>A2</b>	1
<b>A1</b>	4
<b>A3</b>	4

Dessa forma, confirma-se que as alternativas A1 e A3 possuem posições muito próximas, no *ranking*, não sendo estabelecida uma relação de preferência entre elas.. A alternativa A2 é a alternativa preferível para o decisor DM4.

Já o decisor DM5, ordenou as alternativas como se segue na Tabela 5.37:

Tabela 5.37 - Posição das alternativas no *ranking* para o decisor DM5

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>A1</b>	4	4	2
<b>A2</b>	2	1	1
<b>A3</b>	1	3	2

A contagem de votos para as alternativas, segundo a classificação do decisor DM5 é observada na Tabela 5.38:

Tabela 5.38 - Contagem de votos para o decisor DM5

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Votos</b>
<b>A1</b>	-	0	0	0
<b>A2</b>	3	-	2	5
<b>A3</b>	2	1	-	3
<b>Votos</b>	5	1	2	

Dessa forma, aplicando o Procedimento de Copeland, as alternativas recebem os *scores* e ordenação, verificados na Tabela 5.39:

Tabela 5.39 - *Score* de Copeland para o decisor DM5

<b>Ordenação</b>	<b>Score de Colepand</b>
<b>A2</b>	4
<b>A3</b>	1
<b>A1</b>	-5

As posições médias aproximadas das alternativas no *ranking* são vistas na Tabela 5.40:

Tabela 5.40 - Posição média das alternativas no *ranking* para o decisor DM5

<b>Ordenação</b>	<b>Posição no Ranking</b>
<b>A2</b>	1
<b>A3</b>	2
<b>A1</b>	3

A Figura 5.5 representa a ordenação das alternativas para cada decisor:

	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
Posição 1	A2			A2	A2
Posição 2		A3	A2 e A3		A3
Posição 3	A1	A2	A2		A1
Posição 4	A3	A1		A1 e A3	
Posição 5			A1		
Posição 6					

Figura 5.5 - Ordenação das alternativas no *ranking* para os decisores

Agregando as preferências dos decisores, utilizando o Método de Copeland, verifica-se os seguintes votos na Tabela 5.41:

Tabela 5.41 - Contagem de votos para agregação dos votos por decisores

	A1	A2	A3	Votos
<b>A1</b>	-	0	1	1
<b>A2</b>	5	-	3	7
<b>A3</b>	3	1	-	4
<b>Votos</b>	7	1	4	

Dessa forma, as alternativas recebem os seguintes *scores* de Copeland, como expressos na Tabela 5.42:

Tabela 5.42 - *Score* de Copeland para agregação do grupo

Ordenação	<i>Score</i> de Colepand
A2	6
A3	0
A1	-6

As posições médias aproximadas das alternativas no *ranking* são observadas na Tabela 5.43:

Tabela 5.43 - Posição média das alternativas para o grupo

Ordenação	Posição no <i>Ranking</i>
A2	2
A3	3
A1	4

Essa ordenação é ilustrada da seguinte forma na Figura 5.6:

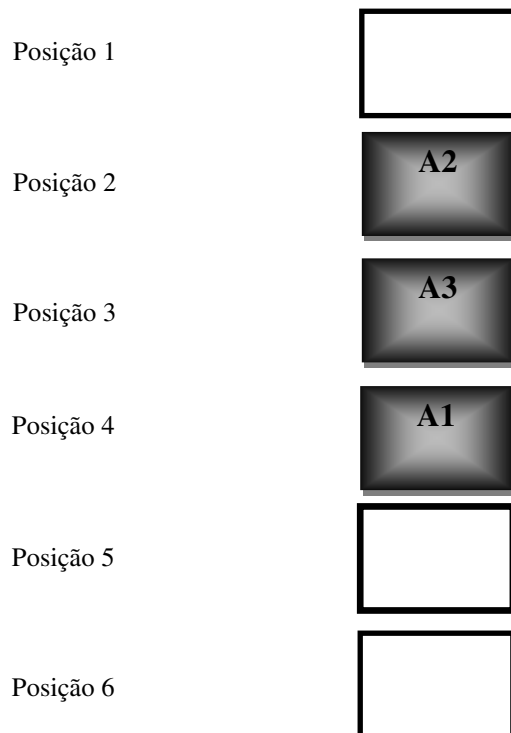


Figura 5.6 - Ordenação das alternativas, agregando por decisor

Com isso, verificou-se que os resultados obtidos através da aplicação do Método de Copeland e o posicionamento médio aproximado das alternativas no *ranking*, obtido pela média aritmética e aproximação ao inteiro mais próximo, de forma a expressar a opinião do

grupo sobre o problema da expansão da capacidade do sistema de abastecimento da CIDADE A, utilizando como entrada a agregação das preferências por critérios ou por decisores é igual, indicando que as informações não são perdidas, tão pouco modificadas, independente da fonte de agregação.

### 5.5 Análise de satisfação

Para verificar a satisfação dos decisores quanto à decisão do grupo, calcula-se a diferença em módulo do *score* da alternativa ordenada por ele e o *score* obtido pela agregação das preferências de todos.

O valor máximo que  $S$  pode assumir é  $3 \cdot (6-1) = 15$ , representando completa insatisfação. O valor mínimo que  $S$  pode assumir é 0, indicando completa satisfação.

Para indicar uma classificação da satisfação, foi-se designadas quatro classes, com as seguintes interpretações:

$B_0$  = O decisor pode estar completamente satisfeito se  $S_i=0$

$B_1$  = O decisor pode estar satisffeito se  $1 \leq S_i \leq 5$

$B_2$  = O decisor pode estar moderadamente satisfeito se  $6 \leq S_i \leq 10$

$B_3$  = O decisor pode estar insatisfeito se  $11 \leq S_i \leq 15$

Através do somatório de  $S$  pode-se verificar o decisor mais satisfeito ao menos satisfeito, sendo o valor mínimo do somatório ao que está mais satisfeito, significando que o intervalo entre a posição da alternativa no *ranking* indicando que suas preferências estão mais próximas das preferências do grupo. Se o valor do somatório for grande, indica que a ordenação individual do decisor está distante da ordenação do grupo.

Tem-se que:

$x_{ij}I$ : ordenação individual da alternativa na avaliação do decisor  $i$  para o critério  $j$ .

$x_iG$ : ordenação da alternativa pela agregação do grupo, no critério  $j$ .

$D_i$ : módulo da diferença entre  $X_{ij}I$  e  $X_iG$

$\sum d_i$ : somatório dos módulos das diferenças para os critérios

#### Satisfação de DM1

A Tabela 5.44 apresenta os cálculos para avaliação da satisfação do decisor DM1.



Tabela 5.44 - Índice de Satisfação do decisor DM1

	$x_{11}I$	$x_1G$	$d_1$	$x_{12}I$	$x_2G$	$d_2$	$x_{13}I$	$x_3G$	$d_3$	$\sum S_i$
<b>A1</b>	3	4	1	3	5	2	4	3	1	
<b>A2</b>	1	2	1	2	2	0	1	1	0	
<b>A3</b>	6	3	3	1	1	0	6	4	2	
<b>S<sub>j</sub></b>			5			2			3	10

Assim, observa-se que o decisor DM1 pode encontrar-se satisfeito com a ordenação do três critérios e indica que o critério que ele pode estar menos satisfeito com a ordenação do critério C1, já que sua relação de preferência (A2, A1, A3) não é mantida pelo grupo que ordenou (A2, A3, A1).

### Satisfação de DM2

Comparando as ordenações das alternativas na avaliação do decisor DM2 e a ordenação obtida pela agregação do grupo, para cada critério, tem-se a Tabela 5.45:

Tabela 5.45 - Índice de Satisfação do decisor DM2

	$x_{21}I$	$x_1G$	$d_1$	$x_{22}I$	$x_2G$	$d_2$	$x_{23}I$	$x_3G$	$d_3$	$\sum S_j$
<b>A1</b>	4	4	0	6	5	1	1	3	2	
<b>A2</b>	3	2	1	4	2	2	3	1	2	
<b>A3</b>	1	3	2	1	1	0	3	4	1	
<b>S<sub>j</sub></b>			3			3			5	11

Observa-se que o decisor DM2 pode encontrar-se satisfeito com a ordenação de todos os critério, no entanto para os critérios C1 e C3 sua ordenação não é mantida pelo grupo, ou seja, as alternativas preferidas por esse decisor, não foram as mesmas consideradas pelo grupo.

### Satisfação de DM3

Para calcular o índice de satisfação do decisor DM3 com relação a ordenação das alternativas, por critério, são realizados os cálculos expressos na Tabela 5.46.

Tabela 5.46 - Índice de Satisfação do decisor DM3

	$x_{31}I$	$x_1G$	$d_1$	$x_{32}I$	$x_2G$	$d_2$	$x_{33}I$	$x_3G$	$d_3$	$\sum S_i$
<b>A1</b>	5	4	1	6	5	1	5	3	2	
<b>A2</b>	3	2	1	2	2	0	1	1	0	
<b>A3</b>	1	3	2	1	1	0	4	4	0	
<b>S<sub>j</sub></b>			4			1			2	7

Observa-se que o decisor DM3 pode encontrar-se satisfeito com a ordenação dos critérios C1 e C3 e completamente satisfeito com a ordenação do critério C2.

### Satisfação de DM4

Para identificar o nível de satisfação do decisor DM4, utiliza-se como base as informações expressas na Tabela 5.47:

Tabela 5.47 - Índice de Satisfação do decisor DM4

	$x_{41}I$	$x_1G$	$d_1$	$x_{42}I$	$x_2G$	$d_2$	$x_{43}I$	$x_3G$	$d_3$	$\sum S_i$
<b>A1</b>	4	5	0	6	5	1	3	3	0	
<b>A2</b>	1	2	1	2	2	0	1	1	0	
<b>A3</b>	5	3	2	1	1	0	6	4	2	
<b>S<sub>j</sub></b>			3			1			2	6

Os resultados apontam que o decisor DM4 pode estar satisfeito com a ordenação das alternativas para todos os critérios, embora para o critério C1, sua relação de preferência não tenha sido a mesma que para o grupo.

### Satisfação de DM5

Por fim, a avaliação a satisfação do decisor DM5 foi calculada, como se observa na Tabela 5.48.

Tabela 5.48 - Índice de Satisfação do decisor DM5

	$x_{51}I$	$x_1G$	$d_1$	$x_{52}I$	$x_2G$	$d_2$	$x_{53}I$	$x_3G$	$d_3$	$\sum S_i$
A1	4	4	0	4	5	1	2	3	1	
A2	2	2	0	1	2	1	1	1	0	
A3	1	3	2	3	1	2	2	4	2	
$S_j$			2			4			3	9

O decisor DM5 pode encontrar-se satisfeito com a ordenação de todas as alternativas. A ordenação que expressa a relação de preferência entre as alternativas na avaliação desse decisor não foi a mesma que a ordenação obtida pela agregação das preferências do grupo para os critérios C1 e C2.

Observa-se que, para o critério C1, houve bastante divergência de avaliação entre os decisores.

O nível de satisfação pode ser útil para verificar quais decisores ficaram mais distantes de terem suas expectativas atendidas.

Sobre esse fator cabe uma reflexão da influência do decisor com maior nível de satisfação, ou seja, preferências pessoais mais próximas de serem atendidas pela decisão do grupo, sobre os outros membros do grupo.

Observa-se a seguinte ordem para os decisores, com relação ao acompanhamento da decisão individual e a decisão coletiva: {DM4, DM3; DM5, DM1; DM2}, sendo o DM4 que possui suas expectativas mais aproximadamente atendidas e o DM2 que possui seus interesses mais distantes de serem atendidos.

Essa comparação pode ser feita, da mesma forma, comparando a ordenação pela agregação dos critérios por decisor e o resultado é expresso na Tabela 5.49:

Tabela 5.49 - Índices de satisfação dos decisores

	$x_{DM1}I$	$xGI$	$d_1$	$x_{DM2}I$	$xGI$	$d_2$	$x_{DM3}I$	$xGI$	$d_3$	$x_{DM4}I$	$xGI$	$d_4$	$x_{DM5}I$	$xGI$	$d_5$
A1	3	4	1	4	4	0	5	4	1	4	4	0	3	4	1
A2	1	2	1	3	2	1	2	2	0	1	2	1	1	2	1
A3	4	3	1	2	3	1	2	3	1	4	3	1	2	3	1
$S_j$			3			2			2			2			3

O único decisor que divergiu da opinião do grupo, na avaliação que a alternativa A1 é a pior, foi o decisor DM1, justificando o seu índice de insatisfação. O decisor DM5 tem a sua ordem de preferências em consonância com o grupo, mas a posição das alternativas no

*ranking* em sua avaliação individual e na avaliação do grupo nota-se um intervalo de um cartão.

O decisor DM2, mesmo sendo o único que, na agregação de suas preferências, não considerou a alternativa A2 como a mais próxima da melhor posição *ranking*, no entanto a avaliação da alternativa A1 coincidiu com a opinião do grupo, o que ocorreu também com o decisor DM4.

## 5.6 Discussão dos Resultados

Através da aplicação do modelo desenvolvido foi possível verificar uma sequência de etapas lógica e concisa que permite o cumprimento do objetivo de um processo de decisão que possui uma problemática de ordenação.

A utilização do modelo permite verificar que informações podem deixar de ser exploradas ao tratar às preferências se a cardinalidade da ordenação for desconsiderada.

No caso fictício estudado, a pura ordenação das alternativas, sem expressar o quanto cada alternativa é preferível com relação à outra na perspectiva do grupo pode limitar a discussão e reflexão sobre os resultados encontrados para a agregação das preferências.

No caso analisado verificou-se a oportunidade de explorar a distância de duas alternativas, utilizando a posição média no *ranking*, o que não era possível utilizando apenas o método de Copeland.

O resultado da análise de satisfação permite a reflexão do alinhamento de opiniões individuais com os interesses do grupo. Outro ponto de reflexão deve ser a influência que um decisor pode exercer sobre os outros no processo de análise e discussão das alternativas que ocorre no *workshop*. No caso analisado a concessionária de água, tem as suas avaliações individuais, para todos os critérios, mais próximas do resultado da agregação. Esse resultado pode sugerir que as informações expressar por esse decisor no *workshop* podem ter influenciado a avaliação dos demais decisores.

A informação obtida na análise de satisfação indica o nível de satisfação dos decisores com relação ao resultado da ordenação do grupo por critério e na ordenação final. Verificou-se que os decisores não convergiram na avaliação do critério C1, sendo essa alternativa a que apresentou os maiores índices de insatisfação.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1 Conclusões**

A crescente demanda por água com qualidade e quantidade suficientes para suprir a demanda da população tem levado os sistemas de abastecimento atuais ao limite de suas capacidades.

Afim de não comprometer o processo de abastecimento e de responder a necessidade de incremento na quantidade de água produzida e distribuída, de forma a não comprometer o desenvolvimento econômico e social e, além disso, respeitando as condições de preservação do meio ambiente, é necessário o planejamento integração das ações de extensão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento.

Em se tratando de políticas públicas a participação de diferentes interessados se faz necessária, de forma a atender suas necessidades, tanto quanto for possível. Logo, o planejamento da expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento trata-se um processo de decisão em grupo, onde cada participante possui seus próprios interesses, pontos de vista e expectativas, que podem muitas vezes ser contrários entre si, o que pode gerar conflitos e tornar o processo de análise das alternativas complexo.

Considerando essa perspectiva, o modelo foi construído considerando em sua estrutura a participação de representantes dos diversos interessados, complementando a lacuna verificada na prática, onde nem todos os participantes relevantes são incluídos no processo de planejamento. Logo, a sociedade civil, agências ambientais, concessionárias, dentro outros, são consideradas decisores e tem voz ativa no processo.

Assim, para auxiliar os decisores nesse processo de planejamento, este trabalho teve como objetivo elaborar um modelo de decisão em grupo, para análise estruturada das alternativas de ação, que fosse capaz de expressar a ordenação que as alternativas ocupam na concepção do grupo e, além disto, incluísse a informação sobre o intervalo entre essas alternativas.

A vantagem de se conhecer a distância entre as alternativas se traduz no aprendizado sobre o problema. Em um processo de tomada de decisão, a informação quantitativa da vantagem da escolha de uma alternativa em detrimento de outra possibilita a reflexão dos seus componentes sobre os aspectos em que uma alternativa se destaca, e se esses aspectos são suficientes para justificar aquela escolha.

As quatro etapas definidas na construção do modelo referem-se à: a) estruturação do problema; b) ordenação das alternativas na visão de cada decisor; c) a agregação das preferências individuais; e por fim d) a análise de sensibilidade.

A escolha do problema correto, das alternativas apropriadas, do papel e importância de cada ator, dos objetivos do processo de decisão, dentre outras características podem influenciar fundamentalmente a qualidade de uma decisão. Dessa forma, em um modelo estruturado de tomada de decisão a fase de estruturação do problema merece notoriedade. Para isso, o modelo proposto sugere um *workshop* onde os atores envolvidos obtêm informação completas sobre o problema, permitindo a familiaridade com o mesmo e todos são incentivados a expor seus conhecimentos e pontos de vista, enriquecendo o processo com informações relevantes. Assim, os problemas que poderiam comprometer a qualidade da decisão podem ser contidos.

Munidos de informações, os decisores são capazes de ordenar as alternativas, sobre diferentes critérios de decisão. O modelo desenvolvido baseou-se do Procedimento de Simos para ordenação das alternativas. Considerando as alternativas como cartões, visualmente ordenando essas alternativas e utilizando-se de cartões em branco para expressar a distância entre essas alternativas. Dessa forma o método utilizado permitiu a visualização da ordem a preferência das alternativas, para cada decisor, e a informação numérica da posição dessas alternativas, através de um *ranking*.

O procedimento de agregação das preferências dos decisores contou com dois processos diferentes. O primeiro processo foi através da utilização do Método de Copeland, onde as informações dos decisores foram agregadas por critério e posteriormente, a ordenação por critérios permitiu a ordenação final das alternativas. Paralelamente a esse procedimento, foi-se utilizado a posição numérica das alternativas para se calcular a posição das alternativas no *ranking*, também para os critérios e a partir daí, a ordenação final das alternativas. A posição média das alternativas foi obtida pela média aritmética da posição das alternativas na ordenação individual e o arredondamento para o inteiro mais próximo. A comparação entre a ordenação realizando o Método de Copeland e a Posição Média do *Ranking* permitiu verificar que, uma vez ignorada as distâncias entre as alternativas, o ordenação pode não refletir a verdadeira importância que as alternativas têm para os decisores.

Assim, conclui-se que utilizar um procedimento que contemple este aspecto pode melhorar o vislumbre das alternativas quanto à aproximação ou distância do que seria uma classificação ideal ou uma classificação indesejada.

Finalmente, o modelo propõe uma análise de satisfação onde os decisores podem verificar a distância de sua ordenação individual com a ordenação obtida pela agregação das preferências do grupo. Com isso, cada decisor pode refletir a respeito da diferença de seus interesses, com relação aos interesses do grupo.

O Modelo foi proposto e aplicado na gestão de recursos hídricos, especificamente na expansão da capacidade de sistemas públicos de abastecimento. No entanto sua estrutura permite a aplicação em outras áreas.

Assim, o modelo desenvolvido cumpre o objetivo inicial do trabalho, ao se gerar um procedimento estruturado de apoio à decisão que considera, além da ordenação das alternativas, a informação cardinal (quantitativa) dessa ordem.

## 6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Para futuros trabalhos, sugere-se:

- A aplicação do modelo desenvolvido em outros tipos de estudos;
- Análise dos métodos de estruturação de problema e identificação do mais adequado;
- Incorporar ao modelo a utilização de pesos nos critérios, de forma que a importância que cada decisor atribui aos critérios estabelecidos no problema possa ser contemplada;
- Os decisores podem possuir diferentes papéis, relações de poder e influência sobre os outros decisores e sobre a decisão a ser tomada. Dessa forma, sugere-se também considerar a importância dos decisores, ou seja, o peso da opinião de cada decisor na avaliação das alternativas;
- A utilização de outros métodos de agregação de preferências, com o propósito de comparar os resultados obtidos;
- Utilizar outros métodos de análise de satisfação e comparar com os resultados obtidos nesse modelo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, Adiel Teixeira. O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão. Editora Universitária UFPE. 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas. Atlas: *Abastecimento Urbano de Água: Resumo Executivo*. Brasília: 2009. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acessado em 18/01/2011.

ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)> 2011.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 2ª ed. Editora LTC. Rio de Janeiro: 1998.

ARROW, Kenneth J., A difficulty in the Concept of Social Welfare. *The Journal of Political Economy*. Vol.58, nº 4, 328-346. 1950.

BELTON, V. STEWART, T. J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers. 2002

BOUYSSOU, Denis, MARCHANT, Thierry, PIRLOT, Marc, TARIKIAS, Alexis. *Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria – Stepping stones for the analyst*. Operations Research. Springer's. 2006.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreto do Código das Águas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Rio de Janeiro, 10 de julho de 1934. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d24643.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm)>. Acesso em: 15 fev. 2011.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 17 de julho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9984.htm)> Acesso em: 15 fev. 2011.



BRASIL. Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7990.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7990.htm)> Acesso em: 15 fev. 2011.

BRASIL. Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 13 de março de 1990. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L8001.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8001.htm)> Acesso em: 15 fev. 2011.

BRASIL. Lei nº 9.443, de 8 de janeiro de 1997. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/Leis/L9443.htm>> Acesso em: 15 fev. 2011.

BRONSON, Richard. *Pesquisa Operacional*. Tradução: Bernardo Severo da Silva Filho; Othon Guilherme Pinto Bravo; Revisão: Aurélio P. Dias. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

CASTI, J. L. *Alternative Realities: mathematical models of natures and man*. A Wiley-Interscience Publication. USA: 1989.

CASTRO, Alaor de Almeida.; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. *Saneamento*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

CEMBRANO G. WELLS, G. QUEVEDO, J. PÉREZ, R. ARGELAGUET R. Optimal control of a water distribution network in a supervisory control system. *Control Engineering Practice*, 8, 2000.

CHECKLAND, Peter. Soft Systems Methodology. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revised*. Second Edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

DACACH, Nelson Gandur. *Sistemas Urbanos de Água*. Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. Rio de Janeiro: 1975.

DIAS, Luis C, CLÍMACO, João N. Dealing With Imprecise Information in Group Multicriteria Decisions: a Methodology and a GDSS Architecture. *European Journal of Operational Research*, 160 (1), 291-307. 2005.

FIGUEIRA, J. GRECO, Salvatore, EHRGOTT, Matthias. *Introduction*. In: Multiple Criteria Decision Analysis: State Of The Art Surveys. Springer Science + Business Media, Inc., 2005.

FIGUEIRA, J. ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research* 139, 317–326. 2002.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento*, 3ª ed. rev. Brasília: 2004.

GIL, Antônio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4º ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Heber Pimentel. *Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias*. 2ª edição. Editora Universitária/UFPB. João Pessoa, 2004.

HARVEY, M. Wagner. *Pesquisa Operacional*, Prentice-Hall 1986.

HATAMI-MARBINI, Adel, TAVANA, Madjid. An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment. *Omega* 39. 373–386. 2011.

JINGLE Sun, PENGZHU Zhang, HUI Deng. A Method of Group Decision Task Structuring. *IEEE*. 1-4244-1312-5. 2007.

KLAMLER, Christian. The Copeland rule and Condorcet's principle. *Economic Theory* 25, 745–749 (2005).

LEYVA-LÓPEZ, Juan Carlos, FERNÁNDEZ-GONZÁLES, Eduardo. A new Method of Group Decision Support Based on ELECTRE III Methodology. *European Journal of Operational Research*, 148(1), 14-27. 2003.

LU, Zhi-Ping, YANG, Shan-Lin. Process of Complex Group Decision-making and its Structural Model of Interactions. International Conference On Computer Design And Appliations - ICCDA, 2010.

MACHARIS Cathy, BRANS Jean-Pierre, MARECHAL Bertrand. The GDSS PROMETHEE Procedure. *Journal of Decision Systems*. Volume 7, 283-307. 1998.

MATSATSINIS ,N.F., GRIGOROUDIS, E. e SAMARAS ,A. Aggregation and Disaggregation of Preferences for Collective Decision-Making. *Group Decision and Negotiation* 14: 217–232, 2005.

MAYS, Larry W. Introduction. In: *Water Distribution Systems Handbook*. McGraw-Hill, 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Serviços de Saúde Pública. *Manual de Saneamento*. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, 1981.

MONTENEGRO, Marcos Helano e TUCCI, Carlos e. M.. Brasil. *Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental Gestão de Território e Manejo integrado das Águas Urbanas*. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

MORAES, L. R.S. *Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos*. ; v.1 Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico / coord. Berenice de Souza Cordeiro. – Brasília : Editora, 2009.

MORAIS, Danielle C., ALMEIDA, Adiel Teixeira de,. Group decision making on water resources based on analysis of individual rankings. *Omega* 40. 42–52, 2012.

MORAIS, Danielle C., ALMEIDA, Adiel Teixeira de,. Modelo De Decisão Em Grupo Para Gerenciar Perdas De Água. *Pesquisa Operacional*, v.26, n.3, p.567-584. 2006

NETTO, J. M.de Azevedo, MARTINS, José Augusto, PUPPI, Ildelfonso C., NETTO, Francisco Borsari, FRANCO, Pedro Nelson C. *Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água*. Universidade Federal do Paraná, 1973.

NETTO, José M. de Azevedo. Considerações Gerais Sobre Projetos De Tratamento De Água. In: *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água*. Volume 2. 2ª edição São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

NURMI, Hannu. Voting Procedures: A Summary Analysis. *British Journal of Political Science*;13(2):181–208. 1983

OLIVEIRA, Walter Engracia de. Importância do abastecimento de água. A água na transmissão de doenças. In: *Técnica de abastecimento e Tratamento de água*. Volume 1. 2ª edição. São Paulo: CETESB, 1976.

ONU DESSA (Departamento de Economia e Relações Sociais das nações unidas), *Word Urbanization Prospects - Revision: 2003*.

ROY, Bernard. Paradigms and Challenges In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State Of The Art Surveys*. Springer Science + Business Media, Inc., 2005.

ROY, Bernard. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SCHMOLDT, Daniel L., PETERSON, David L. Analytical Group Decision Making in Natural Resources: Methodology and Application. *Forest Science* 46(1) 2000.

SHEN, Huizhang, ZHAO, Jidi. A Quick Group Decision-making Planning Method for Emergency Response. *IEEE*. 1-4244-1330-3. 2007.

VINCKE P. *Multicriteria Decision-aid*. John Wiley & Sons. 1992.

WALSKI, Thomas M., CHASE, DONALD V., SAVIC, Dragan A. *Water distribution Modeling*. Haestad Press, 2001.

XU, Jiupingknosy, WU, Zhibin. A discrete consensus support model for multiple attribute group decision making. *Knowledge-Based Systems* 24 1196- 1202. 2011.

YASSUDA, Eduardo R., NOGAMI, Paulo S. Consumo de água. In: *Técnica de abastecimento e Tratamento de água*. Volume 1. 2ª edição. São Paulo: CETESB, 1976.

YOUNG, H.P. Condorcet's Theory of Voting. *American Political Science Review*. Vol. 82. N 4. 1988.